



Emil Wróblewski*, Maciej Babiak*, Antoni Iskra*

INNOWACYJNE ZASTOSOWANIE GRAFENU W KONSTRUKCJI SILNIKÓW SPALINOWYCH W ASPEKTACH REDUKCJI STRAT TARCIA ORAZ ZUŻYCIA PALIWA

Streszczenie: W artykule przedstawiono zastosowanie grafenu w projektowaniu technologicznie zaawansowanych silników spalinowych, co umożliwi poprawę zarówno sprawności mechanicznej, jak i ogólnej tych urządzeń przez redukcję strat tarcia w węźle kinematycznym tłok-cylinder. Dalszą konsekwencją będzie redukcja emisji dwutlenku węgla oraz zużycia paliwa, co jest równoznaczne z proekologicznym skutkiem zmian zaproponowanych w konstrukcji silnika.

Wprowadzenie

Tłokowy silnik spalinowy jest i pozostanie przez następne kilkadziesiąt lat podstawowym napędem pojazdów lądowych oraz najbardziej sprawnym urządzeniem przetwarzającym energię chemiczną paliwa na energię mechaniczną. Mimo to są jeszcze pewne rezerwy na poprawę sprawności przez redukcję strat tarcia wewnętrznego w silniku. Proste metody poprawy sprawności mechanicznej już się jednak wyczerpały. Okazuje się, że duże możliwości stwarza burzliwie rozwijająca się nauka w zakresie nanotechnologii.

Tłokowy silnik spalinowy produkowany jest obecnie na świecie w milionach egzemplarzy, dlatego też nawet niewielka redukcja zużycia paliwa będzie prowadziła do zauważalnych oszczędności tego surowca. Zapasy paliw węglowodorowych na całym globie są ograniczone, a dotychczas nie wynaleziono produktu, który w znacznej części mógłby zastąpić paliwa węglowodorowe. Rozwiązaniem może być zastosowanie nowoczesnych materiałów w konstrukcji silników. Ze względu na coraz niższe koszty uzyskiwania grafenu taki materiał jest konkurencyjny w stosunku do materiału opartego na nanorurkach węglowych.

* Politechnika Poznańska.

Stosowanie innowacyjnych nanomateriałów w technologicznie zaawansowanych silnikach spalinowych wpłynie na poprawę zarówno sprawności mechanicznej, jak i ogólnej tych urządzeń. Konsekwencją będzie redukcja emisji dwutlenku węgla przez silniki napędzające pojazdy, co jest równoznaczne z proekologicznym skutkiem zmian zaproponowanych w konstrukcji silnika. W wyniku wstępnego rozeznania proekologicznego oddziaływania grafenu na powierzchni elementów zespołu tłok-cylinder, można w prosty sposób ograniczyć negatywne skutki motoryzacji.

W artykule przedstawiono zastosowanie grafenu jako innowacyjnego materiału o korzystnych właściwościach tribologicznych w celu redukcji tarcia w węzle tłok-cylinder współczesnych silników spalinowych.

1. Tarcie występujące w silniku spalinowym

Zgodnie z wynikami wielokrotnie przeprowadzonych badań straty tarcia między tłokiem a gładzią cylindra przekraczają zwykle 50% ogólnych strat mechanicznych występujących w silniku spalinowym. Aby zmniejszyć te straty, część prowadzącą tłoka pokrywa się różnego typu powłokami składającymi się z dwusiarczku molibdenu¹. Związek ten charakteryzuje się niskim współczynnikiem tarcia i zachowuje swoje właściwości smarujące przy obciążeniach sięgających 100 MPa. Ograniczeniu ulega również występowanie szkodliwych zjawisk w czasie rozruchu zimnego silnika. Zmniejszenie tarcia umożliwia zmniejszenie luzów między tłokiem a gładzią cylindra. Grubość nakładanej powłoki wynosi zazwyczaj 0,01 mm i można ją jeszcze zredukować, gdyż właściwa powłoka osadzana jest w mikroporach otwartych w procesie piaskowania tlenkiem aluminium o ziarnistości kilkudziesięciu mikrometrów².

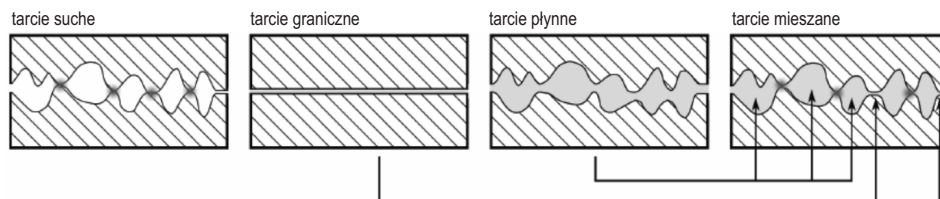
Wprowadzenie między dwie trące części trzeciego ciała w ciekłym stanie skupienia – o określonym współczynniku lepkości dynamicznej – zmniejsza opory ruchu. Ciecz ta, tworząca olej smarujący, rozdziela wierzchołki chropowatości powierzchni i nie dopuszcza do ich bezpośredniego, quasi-metalicznego styku, co określane jest zamianą tarcia suchego na tarcie płynne, proces tarcia zachodzi wówczas wewnątrz warstwy ciała trzeciego, czyli smaru. W przypadku takiego tarcia wartość współczynnika tarcia, a więc i opory ruchu, są wielokrotnie mniejsze niż w sytuacji tarcia suchego³. Wartość współczynnika tarcia płynnego dla olejów newtonowskich waha się w granicach 0,08–0,0005. Taki rodzaj

¹ M. Blümm, A. Baberg, F. Dörnenburg, D. Leitzmann, *Innovative Schaftbeschichtungen für Otto- und Dieselmotorkolben*, „MTZ Worldwide e-Magazin” 2016, Nr. 2.

² T. Deuss, H. Ehnis, R. Rose, R. Künzel, *Reibleistungsmessungen am Befeuertem Dieselmotor-Einfluss von Kolbenschaftbeschichtungen*, „MTZ Worldwide e-Magazin” 2011, Nr. 4.

³ *Tribologia. Tarcie zużywanie i smarowanie*, red. A. Kaczak, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.

tarcia występuje także przy smarowaniu smarami stałymi, takimi jak dwusiarczek molibdenu, którego wyjątkowa zdolność do rozwarstwiania się powoduje, że tarcie zachodzi nie między powierzchniami trących części, a wewnątrz tej substancji. Złożoność procesów tarcia powierzchni współpracy objaśnia rysunek 1.



Rysunek 1. Typy tarcia w skojarzeniach trących

Źródło: *Tribologia. Tarcie zużywanie i smarowanie*, red. A. Kaczak, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008.

W trakcie pracy tłoka w cylindrze grubość klina smarowego zmienia się w zależności od parametrów pracy silnika tzn. mocy, prędkości obrotowej wału korbowego oraz momentu obrotowego. Optymalne warunki tworzenia się i trwania klina olejowego występują wówczas, gdy silnik rozwija niedużą moc przy dużych prędkościach obrotowych. Niestety przy prędkości obrotowej wału korbowego, gdy silnik osiąga maksymalny moment obrotowy i poniżej tej prędkości, może występować chwilowe zrywanie klina olejowego i przejście do tarcia innego niż płynne, co skutkuje zwiększeniem oporów tarcia i szybszym zużyciem współpracujących powierzchni⁴. Istnieje zatem uzasadniona potrzeba stosowania pokryć zmniejszających współczynnik tarcia również w przypadku panewek łożysk wału korbowego. Pokrycie powierzchni panewki powłoką na bazie dwusiarczku molibdenu powoduje, że nawet w przypadku utraty grubości filmu olejowego nadal występuje akceptowalny rodzaj tarcia. Biorąc pod uwagę współczynnik tarcia dwusiarczku molibdenu wynoszący 0,03, opory tarcia są zbliżone do tych występujących w tarcu płynnym. Powłoka wykonana na bazie dwusiarczku molibdenu zachowuje pożądane właściwości przy obciążeniach sięgających 2400 MPa, a więc o wiele wyższych niż jest w stanie przenieść panewka⁵.

Niestety nie jest możliwe, aby tarcie płynne istniało we wszystkich przypadkach ruchu posuwisto-zwrotnego silnika spalinowego, szczególnie w momencie uruchamiania silnika, zanim powstanie film olejowy, kiedy dochodzi do

⁴ T. Deuss, H. Ehnis, R. Rose, R. Künzel, *Reibleistungsmessungen am Befeuertem Dieselmotor-Potenziale der Kolbengruppe*, „MTZ Worldwide e-Magazin” 2010, Nr. 5.

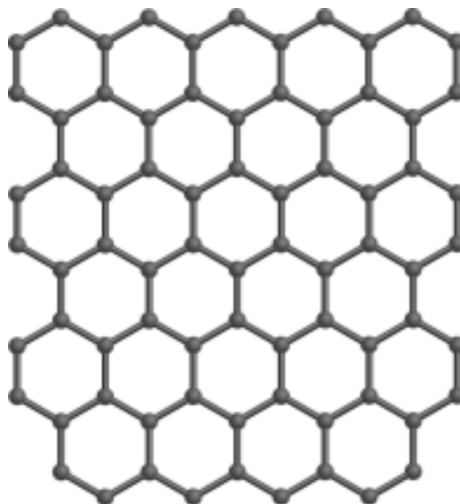
⁵ T. Deuss, H. Ehnis, R. Rose, R. Künzel, *Reibleistungsmessungen am Befeuertem Dieselmotor-Einfluss von Kolbenschaftbeschichtungen...*

bezpośredniego kontaktu mikronierówności powierzchni bocznej łożka oraz gładzi cylindra, a także czopów i panwi łożysk wału korbowego.

2. Grafen jako odmiana alotropowa węgla

Grafen jest materiałem zbudowanym z atomów węgla połączonych wiązaniami o hybrydyzacji sp^2 , tworzących strukturę plastra miodu. Jest to podstawowa struktura węgla, wszelkie odmiany alotropowe są ściśle z nią związane. Pojedynczą warstwę grafenu udało się wytworzyć w 2006 r.⁶

Węgiel w postaci grafenu stanowi jednoatomową warstwę, jej wytrzymałość na rozciąganie wynosi 130 GPa, natomiast dla stali ok. 0,4 GPa. Moduł Younga tego materiału wynosi 1100 GPa. W dodatku grafen ma znacznie mniejszą gęstość ($\sim 2 \text{ g/cm}^3$) niż stal konstrukcyjna, co już na tym etapie pozwala dostrzec potencjalne zastosowanie tego materiału. Grafen charakteryzuje się także bardzo dobrą przewodnością cieplną połączoną z własnościami anizotropicznymi. Przewodność cieplna w płaszczyźnie wynosi ok. 3000 W/mK, a w wymiarze prostopadłym jedynie 1,4 W/mK. Dla porównania, srebro osiąga wartość 429 W/mK. Materiał ten posiada również dobre właściwości elektryczne, w tym: dobrą przewodność, odporność na wysokie gęstości prądu. Membrana z grafenu nie

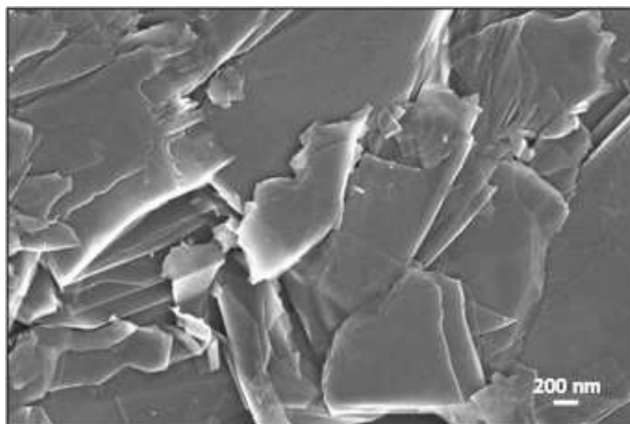


Rysunek 2. Struktura grafenu

Źródło: D. Berman, A. Erdemir, A. Anirudha, *Sumant Graphene, a new emerging lubricant*, „Materials Today” 2014, vol. 17, issue 1.

⁶ A. Rasheed, M. Khalid, A. Javeed, W. Rashmi, T. Gupta, A. Chan, *Heat transfer and tribological performance of graphene nanolubricant in an internal combustion engine*, „Tribology International” 2016, vol. 103, s. 504–515.

przepuszcza cząstek gazów, nawet atomów helu, natomiast tlenek grafenu przepuszcza jedynie wodę⁷. Takie oraz inne właściwości tego wyjątkowego materiału mogą przyczynić się do niezliczonych zastosowań grafenu, między innymi w konstrukcji silnika spalinowego, a także innych elementów z nimi współpracujących. Model struktury grafenu przedstawiono na rysunku 2 i 3.



Rysunek 3. Obraz ze skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) płatków grafenu

Źródło: G. Cieślak, M. Trzaska, *Tribological properties of nanocomposite Ni/Graphene, coatings produced by electrochemical reduction method*, „Composites Theory and Practice” 2016, vol. 16, s. 2.

Dzięki swoim właściwościom grafen może być ciałem stałym lub koloidalną cieczą – płynnym smarem. Jego gęsto zbudowana struktura oraz płaska powierzchnia sprawia, że jest wyjątkowo odporny na siły tnące, będąc wytrzymałym tribologicznie materiałem. Ponadto dzięki swoim właściwościom korzystnie wpływa na redukcję tarcia i zużycie powierzchni. Grafen jest materiałem, który nie przepuszcza cieczy i gazów, takie jak woda lub tlen, a tym samym spowalnia procesy utleniające, które powodują uszkodzenie powierzchni trących. Dzięki dwuwymiarowej budowie o niskiej energii powierzchniowej może zastąpić cienkie warstwy stałe wykorzystywane do zmniejszenia adhezji i tarcia na różnych powierzchniach trących. Wszystkie wymienione właściwości sprawiają, że grafen staje się bardzo atrakcyjnym materiałem do wymagających zastosowań tribologicznych niezbędnym do uzyskania niskich wartości tarcia oraz zużycia⁸. Ponadto nie wymaga żadnej mokrej bazy, może być nakładany bezpośrednio na powierzchnie i zachowuje swoje cechy zarówno w warunkach wysokiej, jak i niskiej wilgotności. Rozważane są również połączenia grafenu

⁷ D. Berman, A. Erdemir, A. Anirudha, *Sumant Graphene: a new emerging lubricant*, „Materials Today” 2014, vol. 17, issue 1, s. 31–42.

⁸ G. Cieślak, M. Trzaska, *Tribological properties of nanocomposite Ni/Graphene, coatings produced by electrochemical reduction method*, „Composites Theory and Practice” 2016, vol. 16, no. 2.

z innymi smarami w stanie ciekłym, które znacznie łatwiej nakładać i rozprowadzać po zakrzywionych powierzchniach. W dotychczasowych opracowaniach wykazano, że pokrycie warstwą grafenu o grubości zaledwie ok. 1–2 nanometra jest w stanie nawet sześciokrotnie zmniejszyć jej współczynnik tarcia⁹.

3. Grafen jako powłoka powierzchni nośnej tłoka

Straty tarcia decydują o sprawności mechanicznej silnika. Ograniczenie strat tarcia przyczynia się do zmniejszenia ilości zużywanego paliwa przy wykonywaniu tej samej pracy. W nowoczesnych silnikach spalinowych za większość strat tarcia odpowiada tłok i pierścienie tłokowe. Tribologiczne działanie zespołu tłok-cylinder ma istotny wpływ na sprawność oraz trwałość silnika spalinowego.

Jedną z metod zwiększania trwałości tulei cylindrowej i powierzchni bocznej tłoka oraz zmniejszenia zużycia paliwa jest stosowanie odpowiednich powłok na bocznych powierzchniach tłoków. Powłoki są stosowane na powierzchni nośnej niemal wszystkich tłoków współczesnych silników wolnossących i doładowanych. Celem ich stosowania jest przede wszystkim uniknięcie zatarcia tłoka w niekorzystnych warunkach pracy silnika, takich jak¹⁰:

- lokalne zmniejszenie luzu tłoka wywołane deformacją wynikającą z cieplnych i mechanicznych obciążeń cylindra,
- zmniejszenie luzu tłoka w następstwie jego przegrzania,
- niewystarczająca grubość warstwy oleju w czasie rozruchu silnika,
- pogorszenie właściwości oleju spowodowane wysoką temperaturą,
- stan silnika przed zakończeniem procesu docierania.

Wyniki badań jednoznacznie potwierdzają pozytywną rolę standardowo stosowanych powłok w zakresie ograniczenia możliwości zacierania tłoka w cylindrze i zmniejszenia zużycia powierzchni cylindra w normalnych warunkach pracy silnika. W rzeczywistych warunkach pracy silnika całkowite straty tarcia zależą przede wszystkim od warunków tarcia płynnego i dlatego zastosowanie powłok nie daje bezpośrednich dużych korzyści w zakresie ograniczenia tarcia.

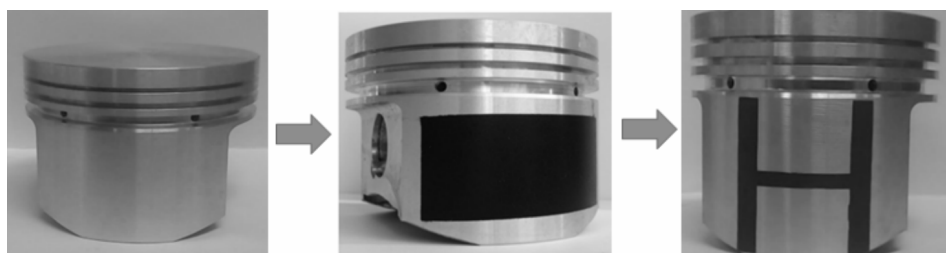
We współczesnych silnikach najczęściej stosowane są powłoki na bazie grafitu i dwusiarczku molibdenu, redukujące tarcie do 15%, przy tym te pierwsze są znacznie popularniejsze dzięki niższej cenie i tylko nieznacznie gorszym cechom funkcjonalnym. Jedną z metod nanoszenia tego rodzaju powłok jest metoda sitodruku, która charakteryzuje się prostotą, niskimi kosztami produkcji,

⁹ A. Senatore, V. D'Agostino, V. Petrone, P. Ciambelli, M. Sarno, *Graphene Oxide Nanosheets as Effective Friction Modifier for Oil Lubricant. Materials, Methods, and Tribological Results*, „Hindawi Publishing Corporation, International Scholarly Research Notice Tribology” 2013, vol. 2013.

¹⁰ M. Blümm, A. Baberg, F. Dörnenburg, D. Leitzmann, *Innovative Schaftbeschichtungen für Otto- und Dieselmotorkolben...*

dużą wydajnością przy zachowaniu wystarczającej dokładności grubości nanozonej warstwy.

Przemysł motoryzacyjny ciągle poszukuje nowych, korzystnych rozwiązań. Odkrycie grafenu otworzyło wiele możliwości. Od kilku lat trwają prace nad praktycznym zastosowaniem różnych nanomateriałów. Były już prowadzone badania, które potwierdziły, że stosowanie nanorurek węglowych na powierzchni bocznej tłoka oraz w oleju smarującym pozwala osiągnąć redukcję tarcia w zespole tłok-cylinder ok. 10%. Wykorzystanie grafenu jako materiału pokrycia powierzchni bocznej tłoka silnika spalinowego (rys. 4) może być korzystniejszej, niż w przypadku pokrycia z nanorurek węglowych, wpłynąć na jego pracę, a mianowicie zmniejszyć odporność powierzchni na zużycie ściernie oraz zmniejszyć drgania wywołane cyklicznością jego pracy.



Rysunek 4. Możliwość pokrywania powierzchni nośnej tłoka powłoką grafenu

Źródło: Opracowanie własne.

Dotychczasowe badania wykazały, że realizacja skomplikowanych kształtów powierzchni bocznej tłoków oraz powierzchni ślizgowej pierścieni tłokowych nie jest konieczna, aby uzyskać korzystne parametry filmu olejowego¹¹.

4. Grafen jako dodatek do oleju smarującego

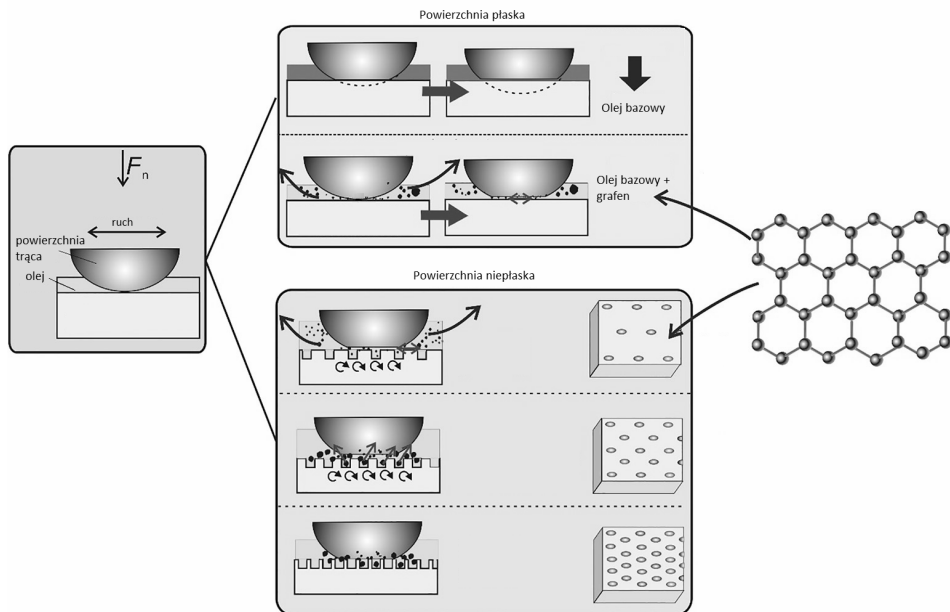
Celem smarowania w silniku spalinowym jest zmniejszenie tarcia i ograniczenie zużycia powierzchni par kinematycznych. Olej smarujący poprawia również szczelność układów oraz ułatwia odprowadzanie ciepła. Zastosowanie oleju smarującego umożliwia także odprowadzanie zanieczyszczenia oraz tłumienie drgania.

Największe zmniejszenie oporów ruchu wywołanych tarcie ślizgowym można uzyskać w procesie tarcia płynnego. Tarcie płynne pozwala całkowicie odizolować od siebie powierzchnie elementów współpracujących, zachodzi ono

¹¹ A. Iskra, P. Krzymień, E. Wróblewski, *Geometry of the improved layer over a piston skirt*, „Combustion Engines” 2015, vol. 162, no. 3, s. 192–196.

wówczas wewnątrz warstwy oleju. Zmniejszenie grubości filmu olejowego do pewnego stopnia może prowadzić do bezpośredniego kontaktu między powierzchniami par kinematycznych. Zjawisko takie nosi nazwę tarcia płynnego.

Nanocząsteczki, a zwłaszcza nanocząsteczki węglowe, badano już wcześniej w celu zwiększenia wydajności smarowania olejem, wykazano, że następuje redukcja tarcia ok. 2%. Okazało się jednak, że cząstki te nie rozpraszają się w oleju, ale mają tendencję do zbijania się, co sprawia, że są one mniej skuteczne. Cząstki zakleszczały się między powierzchniami, doprowadzając do ich agregacji, co w konsekwencji zwiększało tarcie i zużycie. Aby rozwiązać ten problem, zaczęto modyfikować cząstki dodatkowymi substancjami chemicznymi, zwanymi środkami powierzchniowo-czynnymi¹². Nie rozwiązało to jednak problemu, ponieważ pod wpływem tarcia cząsteczki powierzchniowo-czynne ścierały się i rozkładały, po czym ponownie się zlepiły.



Rysunek 5. Schemat wpływu dodatku grafenu do oleju smarującego dla różnych powierzchni trących

Źródło: Zhen-bing Cai, Lei Zhao, Xu Zhang, Wen Yue, Min-hao Zhu, *Combined Effect of Textured Patterns and Graphene Flake Additives on Tribological Behavior under Boundary Lubrication*, „PLOS ONE” 2016, vol. 11(4).

¹² V. Eswaraiah, V. Sankaranarayanan, S. Ramaprabhu, *Graphene-Based Engine Oil Nanofluids for Tribological Applications*, „ACS Applied Materials & Interfaces” 2011, vol. 3, issue 11, s. 4221–4227.

Ze względu na unikalny kształt pogniecione kulki grafenu rozpraszają się bez konieczności dodawania środków powierzchniowo-czynnych. Ich nieregularna powierzchnia nie pozwala na bliski kontakt z innymi kulkami grafenu, a nawet gdy są ściśnięte, to łatwo się od siebie oddzielają¹³. Na rysunku 5 przedstawiono wpływ dodatku grafenu do oleju smarującego dla różnych powierzchni trących.

W przeprowadzonych badaniach wykazano, że wydajność pogniecionych kulek grafenu nie jest zależna od ich stężenia w oleju. Do osiągnięcia zadowalającego efektu wystarczające jest zastosowanie niewielu kulek grafenu, a w przypadku zwiększenia jego stężenia o 10 razy, wydajność jest taka sama. W eksperymentach, w których do oleju dodawano cząsteczki węgla, stężenie miało bardzo duży wpływ na efektywność smarowania, redukując tarcie o 12%¹⁴.

Podsumowanie

Nanostruktura grafenu cechuje się właściwościami nieporównywalnymi z innymi materiałami. Wykorzystywany może być w silniku spalinowym w postaci nanowarstw powierzchniowych w celu zmniejszenia tarcia elementów współpracujących, zwiększenia wytrzymałości szybko zużywających się elementów, tłumienia drgań, zapewnienia szczelności lub kontrolowania przepływu ciepła w silniku. Grafen może być dodawany także jako napełniacz metali, poprawiając znacznie ich właściwości wytrzymałościowe, elektryczne i termiczne. Może być także dodawany do oleju silnikowego, zmniejszając straty energii wywołane tarciami oraz ochronę powierzchni trących lepiej niż konwencjonalne oleje silnikowe.

Literatura

- Baberg A., Freidhager M., Mergel H., Schmidt K., *Aspekte der Kolbenmaterialwahl bei Dieselmotoren*, „MTZ Worldwide e-Magazin” 2012, Nr. 12
- Berman D., Erdemir A., Anirudha A., *Sumant Graphene, a new emerging lubricant*, „Materials Today” 2014, vol. 17, issue 1
- Blümm M., Baberg A., Dörnenburg F., Leitzmann D., *Innovative Schaftbeschichtungen für Otto- und Dieselmotorkolben*, „MTZ Worldwide e-Magazin” 2016, Nr. 2
- Cai Zhen-bing, Zhao Lei, Zhang Xu, Yue Wen, Zhu Min-hao, *Combined Effect of Textured Patterns and Graphene Flake Additives on Tribological Behavior under Boundary Lubrication*, „PLOS ONE” 2016, vol. 11(4)
- Cieślak G., Trzaska M., *Tribological properties of nanocomposite Ni/Graphene, coatings produced by electrochemical reduction method*, „Composites Theory and Practice” 2016, vol. 16, no. 2

¹³ J. Ligier, B. Noel, *Friction Reduction and Reliability for Engines Bearings*, „Lubricants” 2015, vol. 3, issue 3, s. 569–596.

¹⁴ A. Senatore, V. D’Agostino, V. Petrone, P. Ciambelli, M. Sarno, *Graphene Oxide Nanosheets as Effective Friction Modifier...*

- Deuss T., Ehnis H., Rose R., Künzel R., *Reibleistungsmessungen am Befeuereten Dieselmotor-Potenziale der Kolbengruppe*, „MTZ Worldwide e-Magazin” 2010, Nr. 5
- Deuss T., Ehnis H., Rose R., Künze R., *Reibleistungsmessungen am Befeuereten Dieselmotor-Einfluss von Kolbenschaft-beschichtungen*, „MTZ Worldwide e-Magazin” 2011, Nr. 4
- Eswarajah V., Sankaranarayanan V., Ramaprabhu S., *Graphene-Based Engine Oil Nanofluids for Tribological Applications*, „ACS Applied Materials & Interfaces” 2011, vol. 3, issue 11
- Iskra A., Krzymień P., Wróblewski E., *Geometry of the improved layer over a piston skirt*, „Combustion Engines” 2015, vol. 162(3)
- Ligier J., Noel B., *Friction Reduction and Reliability for Engines Bearings*, „Lubricants” 2015, vol. 3, issue 3
- Rasheed A., Khalid M., Javeed A., Rashmi W., Gupta T., Chan A., *Heat transfer and tribological performance of graphene nanolubricant in an internal combustion engine*, „Tribology International” 2016, vol. 103
- Senatore A., D’Agostino V., Petrone V., Ciambelli P., Sarno M., *Graphene Oxide Nanosheets as Effective Friction Modifier for Oil Lubricant. Materials, Methods, and Tribological Results*, „International Scholarly Research Notice Tribology” 2013, vol. 2013
- Tribologia. Tarcie, zużywanie i smarowanie*, red. A. Kaczak, Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2008

INNOVATIVE APPLICATION OF THE GRAPHENE STRUCTURES IN COMBUSTION ENGINES INTO ASPECTS OF REDUCTION FRICTION LOSS AND FUEL CONSUMPTION

Summary: The paper presents the application of graphene in designing technologically advanced internal combustion engines, which will improve both the mechanical efficiency and overall these devices, by reducing friction losses in the kinematic node piston-cylinder. A further consequence will be the reduction of carbon dioxide emissions and fuel consumption, which is synonymous with ecological effect of the proposed changes in engine design.