

Zastosowania Nanorurek Węglowych w Inżynierii Transportu w Celu Zmniejszenia Tarcia

Streszczenie

Niniejsza praca ma na celu zrozumienie mechanizmów tarcia nanorurek węglowych (ang.: Carbon Nanotubes, CNTs) i ich praktycznego wykorzystania w tłokowych silnikach spalinowych.

Dotychczas znakomita większość badań CNTs jest ograniczona do wyidealizowanych warunków które panują w tribometrach [1,3]. W tej pracy ważniejsze są jednak przemysłowe zastosowania CNTs, ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień transportowych i tłokowych silników spalinowych. W tłokowym silniku spalinowym dominującą formą tarcia jest tarcie ślizgowe które występuje w głównych węzłach tarcia takich jak tłoki, pierścienie tłokowe i łożyska ślizgowe. Z tego powodu główną częścią niniejszej pracy stanowi eksperyment silnikowy który polegał na wprowadzeniu CNTs do oleju smarującego. Do oleju referencyjnego wprowadzono śladowe ilości CNTs uzyskując stężenie masowe równe 0,03%, następnie porównano straty tarcia dla oleju referencyjnego i wzbogaconego nanorurkami. Zaobserwowano znaczne zmniejszenie strat tarcia w warunkach napędu zewnętrznego silnika, ponadto nanorurki spowodowały zaskakująco silne zmniejszenie drgań. Czujnik drgań zamontowano na kadłubie silnika, w pobliżu łożysk głównych wału korbowego. W różnych warunkach pracy silnika określonych temperaturą cieczy chłodzącej, prędkością obrotową i obciążeniem zarejestrowano zmniejszenie maksymalnego przyspieszenia drgań sięgające 30%. Główny eksperyment wykonany w ramach tej pracy potwierdza tym samym hipotezę, że CNTs wprowadzone do oleju smarującego mogą znacząco zmniejszyć tarcie ślizgowe, jednocześnie przyczyniając się do znacznego zmniejszenia drgań.

Do zrozumienia procesów tarcia ślizgowego kluczowe jest uwzględnienie rozpraszania energii w formie energii cieplnej. Wiele zjawisk zachodzących na powierzchni trących jest ściśle związane z ciepłem wyzwolonym przez tarcie. Dla głębszego zrozumienia wyników testów silnikowych wykonano dodatkowe badania. Określenie podstawowych parametrów związanych z tarcie, takich jak współczynnik tarcia, adhezja, dyssypacja energii i zużycie powierzchni wymaga zrozumienia zjawisk na poziomie atomowym. Aby to umożliwić przeprowadzono dodatkowe testy w tribometrze Amslera oraz symulacje tarcia z użyciem modelu dynamiki molekularnej. Obecnie nie jest jeszcze możliwe pełne zrozumienie zjawisk w skali atomowej. Model LAMMPS pozwala jedynie na ograniczone odwzorowanie złożonych zjawisk zachodzących w łożysku ślizgowym tłokowego silnika spalinowego.

Carbon Nanotubes Applications for Friction Reduction in Transport Engineering

Abstract

This thesis aims to understand the tribological functions of carbon nanotubes (CNTs) and their practical applications for internal combustion engines lubrication.

Until now the vast majority of scientific studies aiming at tribological applications of CNTs were conducted under idealized tribometer conditions [1, 3]. This thesis is focused on the industrial applications of CNTs, with special regard to the transport engineering and combustion engines. It is obvious that the main source of friction losses in an internal combustion engine is related to the sliding friction, whereby the main friction components are pistons, piston rings and journal bearings. Thereby the main part of this work was an engine test, where the CNTs were introduced into engine lubricating oil. The overall engine friction was measured and compared for reference oil and research oil, whereby only trace amounts of CNTs were introduced, to obtain the CNTs mass concentration in research oil as low as 0.03%. The engine motoring torque was reduced significantly, moreover a surprisingly high reduction in engine vibrations was observed. The vibration acceleration measured on the engine block, close to the main bearing was reduced by up to 30% for the research oil containing trace amounts of CNTs. The vibrations were measured for hot engine, the beneficial role of CNTs was confirmed at various engine working conditions like coolant temperature, engine speed and load. The final experimental result of this work confirmed the thesis that the CNTs introduced into lubricating oil can reduce sliding friction significantly, reducing vibrations at the same time.

Friction on sliding surfaces is closely linked to the dissipation and release of thermal energy, which is crucial for understanding friction. A large portion of the surface phenomena relies on temperature. For better understanding of the CNTs induced friction phenomena observed in the engine a series of complementary tests were conducted. A precise understanding of the interaction between surfaces in contact at the atomic or nanoscale level is necessary to determine crucial friction characteristics, including friction coefficient, adhesion, energy dissipation, and wear. To gain this insight Amsler tribometer tests and molecular dynamics calculations were conducted, as an extension to the engine tests. It turned out that the phenomena related to the CNTs in the lubricating oil could not be explained to their full extent at this point. The LAMMPS molecular dynamics simulation model allows for some insights into friction at atomic scale, however real engine journal bearings working conditions are too complex to be reproduced at a molecular scale.