

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	環境調和型潤滑剤を用いたDLC膜の摩擦における低摩擦発現機構の解明
Title(English)	
著者(和文)	吉田健太郎
Author(English)	Kentaro Yoshida
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9588号, 授与年月日:2014年5月31日, 学位の種類:課程博士, 審査員:益子 正文,久保内 昌敏,関口 秀俊,大竹 尚登,森 伸介,青木 才子
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9588号, Conferred date:2014/5/31, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

(論文博士)

## 論 文 要 旨 (和文2000字程度)

(Summary)

報告番号	乙 第 号	氏 名	吉田 健太郎
<p>(要 旨)</p> <p>潤滑剤を用いるDLC膜のすべり摩擦環境下において低摩擦を示す研究例は数多く存在する。しかしながら、用いる材料や潤滑剤、さらには荷重や速度等の試験条件、また温度や湿度等の試験環境によって、様々な影響因子が複雑に絡み合うため、DLC膜の摩擦低減に影響を及ぼす因子の抽出や、トライボ化学反応を摩擦低減と直接関連づけることが非常に難しかった。このような理由からDLCの摩擦低減に及ぼす潤滑剤の影響を評価し、そのメカニズムもしくは影響因子に言及した研究は必ずしも多くはない。一方、環境保護の観点では、潤滑剤中には環境に悪影響を及ぼす成分が用いられている場合があるが、これらは今後排除されていく傾向であるため、DLC膜に対して潤滑剤を用いる場合は、環境適合性の高い潤滑剤とDLC膜との相互作用を見極めていくことが重要となる。</p> <p>本研究では環境調和型潤滑剤を用いたDLC膜のすべり摩擦に際し、摩擦特性に影響する因子を明らかにするため、可能な限り単純な系で摩擦試験を行い、摩擦試験後のDLC膜の表面分析結果に基づいて低摩擦特性に影響する因子を明確化することを目的とした。</p> <p>本論文は以下の5章より構成される。</p> <p>第1章「序論」では、環境保護の観点から省資源・省エネルギー化が求められていることを受け、主に炭素・水素・窒素・酸素で構成された、環境汚染物質を含まない硬質薄膜や潤滑剤の使用による低摩擦化技術の研究・開発が進められていることを述べるとともに、本研究の目的及び本論文の構成を示した。</p> <p>第2章「膜種の異なるDLC膜の環境調和型潤滑剤潤滑下の摩擦特性」では、様々な環境調和型潤滑剤（有機酸，アルコール，エステル）潤滑下における2種類のDLC膜（a-C:H，ta-C(T)）対鋼の摩擦特性を示し、膜質や潤滑剤の違いが摩擦係数に与える影響について検討した。その結果、鋼ピンとDLCディスクの乳酸潤滑下の摩擦試験において、ta-C(T)の摩擦係数は約0.01と著しく低い摩擦係数を示した。鋼ピンの表面にはFeOの酸化膜の生成が確認され、相手材である鋼ピンの酸化の状態が摩擦係数に影響することを示した。摩擦低減にはこの他にDLCコーティングの特性，潤滑油に含まれる官能基，荷重，速度，接触形状等，諸条件のバランスが重要であることがわかった。</p> <p>第3章「環境調和型潤滑剤を用いたDLC膜の摩擦低減に及ぼす潤滑剤極性基の影響」では、潤滑下でのDLC膜の摩擦特性とその速度依存性を示し、様々な環境調和型潤滑剤（有機酸，アルコール，炭化水素）を用いたDLC膜の摩擦において、摩擦低減に及ぼす潤滑剤中の極性基の影響，およびすべり速度の影響を評価した。DLC膜の摩擦特性にも鋼の摩擦</p>			

と同様、潤滑剤中の極性基の有無が摩擦特性に影響を及ぼすことを見出した。極性基を有する潤滑剤の摩擦係数は、 $a-C:H$ に比べて $ta-C(T)$ に強く影響を与えることがわかった。 $a-C:H$ と $ta-C(T)$ の摩擦特性の差異は、低速域ではトライボ化学反応膜の生成能力の違いにより、高速域ではDLC膜との間の濡れ性の相違による潤滑剤の摩擦面への供給量の違いのため生じるものと考えられた。

第4章「オレイン酸潤滑下における $a-C:H$ 膜と $ta-C$ 膜の摩擦低減特性とトライボ化学反応の関係」では、カルボキシル基の水素を重水素化したオレイン酸を用い、 $a-C:H$ 膜同士と $ta-C(T)$ 膜同士の摩擦低減特性とトライボ化学反応の関係を調べ、DLC膜表面分析結果から、トライボ化学反応により生成する反応膜の生成過程および構造を推定し、オレイン酸潤滑下のDLC膜の摩擦低減モデルを考察した。 $a-C:H$ 表面の炭素結合手の多くは水素終端されており、化学的な活性が低いため極性基に対する反応性が低く、トライボ化学反応膜は生成しにくい。一方 $ta-C(T)$ ではオレイン酸のカルボキシル基がDLC側に向けて吸着して規則的に配列されたトライボ化学反応膜が生成する。これらのことから $a-C:H$ に比べて $ta-C(T)$ の摩擦係数が低いことが説明でき、トライボ化学反応膜の生成に対して $a-C:H$ 膜と $ta-C(T)$ 膜では大きく異なることがわかった。

第5章「総括」では、本論文で得られた結果をまとめた。

本取り組みを通じて、潤滑下におけるDLC膜による超低摩擦化は、DLC膜と潤滑剤中の極性基との相互作用によって形成されるトライボ化学反応膜および流体潤滑効果の適正化によって可能となることを提示した。このことは、潤滑剤設計に限らず、しゅう動部の材料や表面形状の設計にも展開が可能となる。DLC膜と潤滑剤による超低摩擦化技術に、DLC表面の加工や表面処理による摩擦面形状制御などを連携させることによって、更なる超低摩擦化が推進すると期待される。

(論文博士)

## 論 文 要 旨 ( 英 文 )

(300語程度)

報告番号	乙 第 号	氏 名	吉田 健太郎
<p>( 要 旨 )</p> <p>In friction of DLC coating using environmentally-friendly lubricants, friction tests were conducted on partner materials, roughness of materials and lubricants with simple method as possible, and factors which influenced super low friction were investigated by surface analyses of DLC coatings after sliding. In 50mm/s sliding tests lubricated with lactic acid, oleic acid and oleyl alcohol, it was found that the coefficient of friction in hydrogen-free DLC coating (ta-C) showed super lubrication under 0.01 instead of high friction of 0.04-0.07 in hydrogenated DLC coating (a-C:H). The difference of the friction cannot be explained by neither surface roughness nor lubricant film thickness parameter. Chemical effect caused by a polar group in lubricants influenced to friction properties. Then, friction tests lubricated with oleic acid having the deuterated carboxyl group were carried out. After those tests, the difference of the sliding surface chemisorption was investigated by Time of Flight Secondary Ion Mass Spectrometry and X-ray Photoelectron Spectroscopy. The tribochemical reaction film consisting of carboxyl groups in oleic acid was formed by chemisorbing regularly for the ta-C coating, whereas oleic acid on the a-C:H coating penetrated into the upper surface. For the ta-C coating, carboxyl groups in the tribochemical reaction film appeared to improve wettability. As a result, the area of fluid lubrication condition was enlarged. For this reason, it was estimated that the super low friction property of ta-C might be produced by the effect of combining tribochemical reaction film and the enlarged fluid contact ratio. Through this study, it showed that super low friction with DLC coatings under lubrication was able to achieve by the normalization of the fluid effect and the tribochemical reaction film formed by the interaction between a polar group in lubricants and surface of DLC coatings.</p>			