

氏 名 マー・アナント クマール

授与した学位 博士

専攻分野の名称 工学

学位授与番号 博甲第4553号

学位授与の日付 平成24年 3月23日

学位授与の要件 自然科学研究科 産業創成工学専攻

(学位規則第5条第1項該当)

学位論文の題目 Study on Tribological Characteristics of Thick Diamond-like Carbon Coatings in Vacuum and Oil Lubrication

(真空中および油潤滑下におけるダイヤモンドライクカーボン被膜のトライボロジー特性に関する研究)

論文審査委員 教授 藤井正浩 教授 塚本眞也 教授 岡田晃

学位論文内容の要旨

The aim of the study was to explore and understand the tribological characteristics of thick Diamond-like carbon coatings (DLC) under different environment as well as contact conditions. The heavy demand of highly dependable and long durable machine elements forms back ground of the study. Different kinds of machine elements such as rollers and gears, as well as ring and disk pair were used for the tribological testing. The a-C:H type DLC coating was deposited on the test specimens with hot cathode Penning Ionization Gauge (PIG) plasma CVD equipment in two layers. The nominal coating thicknesses were 3 μm , 6 μm and 10 μm . The specimen pretreated with radical nitriding before DLC coating was also prepared for the study. For the ring and disk specimen tested in vacuum under sliding contact condition the friction coefficients were found to be in the range of 0.1~0.35 for the selected test conditions. The wear resistance of the DLC coating increased with the thickness of coatings with 10 μm thick coatings showing longer wear life. The wear mechanism observed in the ground specimens seemed to be an ordered sequence of cut down of asperity peaks, scratch formation, gradual wear of coatings, wear debris formation/accumulation of wear debris in scratches, churning/shearing of wear debris during the repeated sliding process, deposition of wear debris in the wear scar from the repeated sliding process which resulted in the extended wear lives of the DLC coated specimens. In lapped specimen polishing of asperities could not be detected but the polishing of asperities could be affirmed by the formation of scratches in the disk surface. There was also a small chipping in the D3L and ND6L specimens. But the chipping of small portion of DLC coating does not influence any delamination or hazardous wear of the coating. For the ring and disk specimen tested in oil lubrication under sliding contact condition the friction coefficients were found to be 0.09 for the selected test conditions. The 10 μm thick DLC coated specimens showed the best wear performance for the selected test conditions. The nitrided 3 μm thick coated specimen showed a wear resistance equivalent to that of 10 μm thick coated specimen. The final failure of the coating was in the form of delamination as the coating became thin. The final failure of the coating was in the form of delamination as the coating became thin. The rollers and gear pair tests in vacuum and oil lubrication showed low friction coefficient for the DLC coated specimens. The test results and analysis revealed that the wear resistance and durability of the tested DLC coatings was high for the thickest 10 μm coatings in vacuum and oil lubrication both in sliding and sliding-rolling contact condition. The radical nitriding played a significant role in the enhancement of wear life of the DLC coatings. It could be stated the tested DLC coatings had better wear performance in sliding contact rather than in sliding-rolling contact. The wear mechanism observed in the study of sliding contact was gradual wear process with out any catastrophic failure of DLC coatings, where as the failure of DLC coatings were by delamination in the case of sliding-rolling contact. From the conclusions it could be stated the tested DLC coatings is suitable for sliding contact as there was no delamination or catastrophic failure.

論文審査結果の要旨

本論文では、真空中および油潤滑下における厚膜 DLC のトライボロジー特性を調べ、機械要素の表面強度および機能向上のために DLC 被膜を応用する基本的な考え方を明らかにしている。DLC とは、C (carbon) をベースとする真空蒸着処理された被膜の総称であり、非晶質であるため多種多様な被膜を作ることができ、その性質も千差万別である。機械要素に DLC 被膜を応用する場合、機械の使用条件に応じた適切な DLC 被膜を用いることが必要であり、運転条件や表面性状が異なる表面に施した DLC 被膜のトライボロジー特性を明らかにすることが求められている。機械要素の接触表面の多くは最大高さ粗さ $1.5\mu\text{mRz}$ 程度で用いられる。本論文では機械要素表面の粗さを越える DLC 被膜を比較的短時間で処理できるプラズマ CVD 法を用いて成膜した厚膜 ($3\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$) の a-C:H DLC について検討している。機械要素表面の仕上げ方法として研削仕上げとラッピング仕上げを取り上げるとともに被膜の密着強さ向上のためにラジカル窒化処理を取り上げ、DLC 被膜のトライボロジー特性に及ぼす仕上げ表面の粗さおよび成膜前の窒化処理の影響を高真空中ならびに油潤滑下で調べている。また、高面圧かつ高すべり率で運転される機械要素への応用を目的として DLC 被膜を施したローラおよび歯車を用いて、すべり転がり接触条件下における摩擦・摩耗挙動を調べている。その結果、純すべり接触条件下での真空中および油潤滑中、ならびに、すべり転がり接触条件下での摩耗形態の違いを明らかにしている。すなわち、すべり接触条件下では、DLC 被膜前の表面粗さにより DLC 被膜の摩耗プロセスが異なり、表面粗さが大きい場合には DLC 被膜は突起先端から摩耗し摩耗の増大につながることを示している。また、DLC 被膜がほぼ摩耗した後でも、DLC 摩耗粉の移着が生じる条件では摩耗寿命が大きいことを示している。一方、高面圧のすべり転がり接触条件下では界面からの剥離が支配的であるため、界面の密着強度が重要であることを示している。このような接触形態による損傷プロセスの違いにより、純すべり接触条件下ではラジカル窒化処理は表面粗さを増大させるため比較的薄膜の DLC においてのみ有効であること、高面圧の滑り転がり接触条件下では界面からはく離が支配的であるので特に有効であることを明らかにしている。加えて、本研究に用いた a-C:H DLC 被膜の寿命(すべり接触条件下では摩耗寿命、すべり転がり接触条件下では剥離寿命)は、厚膜の DLC 被膜で大きいことを摩耗プロセスの観点から説明している。これらの研究成果は機械要素の性能向上のために厚膜 DLC 被膜を機械要素の接触表面に応用するための有用な知見を与えており、学術上および工学上寄与するところが大きい。よって、本論文は博士(工学)の学位を授与するに値するものと認められる。