113 DLC 膜の水中および空気中での摩擦摩耗特性

Friction and wear of DLC films in water and air environments

○フェロー 田中 章浩 (産総研) 非 鈴木 雅裕 (産総研) 非 大花 継頼 (産総研)

Akihiro Tanaka, AIST, Tsukuba Central 5, Ibaraki 305-8565
 Masahiro Suzuki, AIST, Tsukuba Central 5, Ibaraki 305-8565
 Tuguyori Ohana, AIST, Tsukuba Central 5, Ibaraki 305-8565

Three types of DLC films, pure DLC, F-containing DLC, and Si-containing DLC film, were deposited on a WC-Co substrate by a plasma-enhanced CVD technique. Friction and wear properties were determined using a ball-on-plate type reciprocating friction tester in water, comparing the water results to those in ambient air. The friction coefficient of DLC and F-DLC films in water was considerably lower than that in air. With Si-DLC, the friction was almost the same level in both water and air, and was less than 0.1. The specific wear rate of films in water was much smaller than that in air and varied around the low level of 10^{-8} mm³/Nm in water. With DLC and F-DLC films, the transferred amount of material on the friction surface of a mating ball was larger in a water environment than that in air. With a Si-DLC film, the difference in the transferred amount when exposed to either the water or air environment was small.

Keywords: DLC film, Friction, Wear, Transfer, Water environment

1. はじめに

最近、環境保全、安全・衛生、防災等の観点から、水圧駆動システムへの関心が高まっている。しかしながら、実用化のためには、技術的課題がまだ幾つも残されている。その1つはトライボロジーに関わる課題である。水圧駆動システムの摺動部では、流体潤滑効果が期待できないので摺動部材料が低摩擦性や耐摩耗性等を持つ必要があるが、それらに適う材料は未だ不十分である。

一方、ダイヤモンドライクカーボン (DLC) 膜は、無潤滑下で優れた低摩擦・耐摩耗性を示すことが明らかになっている。これらの特性は、水中でも発現することが報告されている^{1,2)}。しかし、水中での摩擦摩耗特性の詳細やそれらの優れた機能発現の機構は、明らかになっていない。

そこで、筆者らの所属するセンターにおいては、DLC 系皮膜の開発やそれらの水中でのトライボロジー特性を調べる研究を行なっている。本報では、プラズマ CVD 法により作製した各種の DLC 膜の水中での摩擦摩耗特性を、空気中でのそれらと比較して調べた結果を報告する。

2. DLC 膜の作製と摩擦実験

3 種類の DLC 膜を、熱電子励起型プラズマ CVD 装置により、WC-Co 基板上に成膜した。無添加の DLC 膜は C_6H_6 を、フッ素を添加した DLC 膜 (F-DLC) は C_6H_6 と C_4F_8 との混合ガスを、シリコンを添加した DLC 膜 (Si-DLC) は C_6H_6 と $(CH_3)_2SiO$ との混合ガスをそれぞれ用いて成膜した。

Table 1 Properties of films

	DLC	F-DLC	Si-DLC
Film thickness, μm	0.6	1.1	1.2
F or Si content, at. %	0	0.24	5.9
Hardness, GPa	24	24	23
Surface roughness, nm	7	16	8

摩擦実験は、ボールオンプレート型往復動摩擦試験機を用いて、イオン交換水および大気中で行なった。ボールには、直径 3/16 インチの SUS440C (Hv=830) を用いた。実験は一定の往復速度 60 cycle/min (平均すべり速度=16 mm/s)

Figure 1 Friction behaviours of three type films at load 5.7 N

の下で、負荷荷重を変えて (1.9N~9.4N) 行った。

3. 実験結果と考察

3 種類の DLC 膜の水中および空気中での摩擦挙動の例を図 1 に示す。いずれの DLC 膜においても、水中、空気中を問わず、実験開始時の摩擦係数は大きく、その後減少してほぼ一定の値となる傾向があった。他の荷重条件下での挙動を含めると、摩擦係数がほぼ一定になるまでの摩擦回数は、水中の方が空気中よりも少なかった。DLC および F-DLC の場合には、水中の摩擦係数は空気中のそれよりも低くなり、0.1 以下になった。他の荷重においてもほとんどの場合、同じ傾向が見られた。Si-DLC の場合には、水中と空気中とで摩擦係数に明瞭な違いは見られず、いずれの場合にも摩擦係数は 0.1 程度あるいはそれ以下と低かった。いずれの皮膜においても、空気中に比べ水中では摩擦の変動が小さかった。水中の摩擦係数に関しては、3 種類の皮膜の間に明瞭な相違は認められなかった。

3 種類の DLC 膜および摩擦相手の SUS440C ボールの比摩擦量を図 2 に示す。いずれの皮膜においても、水中での摩擦量は空気中のそれよりも明らかに小さく、 $10^{-8}\text{mm}^3/\text{Nm}$ のオーダーの値であった。F-DLC および Si-DLC の摩擦量は、水中、空気中を問わず、無添加 DLC のそれに比べてやや大きかった。摩擦相手の SUS440C の摩擦については、皮膜の場

Figure 2 Specific wear rate of three type films and mating ball at load of 5.7 N

合とは逆に水中の方が空気中よりもやや大きかった。無添加 DLC および Si-DLC と摩擦した時の SUS440C の摩擦は $10^{-9}\text{mm}^3/\text{Nm}$ のオーダーであったが、F-DLC と摩擦した場合には $10^{-8}\text{mm}^3/\text{Nm}$ のオーダーとなった。これは、F-DLC の表面粗さが他の皮膜に比べて大きいことによると考えられる。

図 3 は DLC 膜と摩擦した後の相手ボール摩擦面の光学顕

Figure 3 Friction surfaces of mating ball sliding against DLC and Si-DLC at load of 5.7 N

微鏡写真である。無添加の DLC と摩擦した時、水中、空気中を問わず、ボールの摩擦面には明瞭に移着物の存在が認められた。移着物の量は水中の方が空気中よりも多いようであった。F-DLC と摩擦した時にも同様の傾向が見られた。Si-DLC の時にもボール摩擦面に移着物が存在したが、その量には水中、空気中とで明瞭な相違は見られなかった。

以上の摩擦面の観察結果から、水中で 3 種の DLC 膜が良い摩擦摩耗特性を示すのは、摩擦相手のボール摩擦面に生じる移着物の量や質と相関があると思われる。移着物の質的な検討については、これまでに XPS による分析を行ったが詳細は明らかになっておらず、今後の課題であると考えている。

4. むすび

無添加 DLC 膜、F 添加 DLC 膜、Si 添加 DLC 膜について摩擦摩耗特性を調べた結果、いずれも水中で優れた特性を示すことが分かった。これらの特性は、摩擦相手面に生じる移着現象と相関があると考えられる。

本研究で用いた皮膜の作製については、ナノテック (株)・角谷 透博士の全面的なご協力を、また実験については、産総研・新炭素系材料開発研究センターの鹿又美紀彦氏のご協力をいただいた。厚くお礼申し上げる。本研究は、経済産業省、NEDO の研究開発プロジェクトである「低摩擦損失高効率駆動機器のための材料表面制御技術に関する研究」の中で行われたものである。

参考文献

- 1) D. Neerincx, 他, Diamond and Related Materials, 7, (1998) 468.
- 2) S. Ronkainen, 他, Wear, 249, (2001) 267. 1)