

ta-C:H 膜の摩擦摩耗特性に及ぼす温度及び真空度の影響

Effect of temperature and vacuum degree on friction and wear properties of ta-C:H films

名古屋大・工（非）安田 大毅 名古屋大・工（正）*梅原 徳次 名古屋大（正）野老山 貴行

Taiki Yasuda*, Noritsugu Umehara*, Takayuki Tokoroyama*

*Nagoya University

1. 背景及び目的

現在、人工衛星などの宇宙機の潤滑剤として、二硫化モリブデンなどの固体潤滑剤が使用されている。しかし、これらの固体潤滑剤は耐摩耗性が低い問題を抱えている。そこで、低摩擦、高耐摩耗性を両立する炭素系硬質膜、DLC (Diamond-like Carbon)膜の適応が望まれている。DLC 膜の製法には、CVD(Chemical Vapor Deposition)法と PVD(Physical Vapor Deposition)法があり、PVD 法の方が硬質な膜が得られ高耐摩耗性が期待できる。しかし、不純物を含まない ta-C(tetrahedral amorphous carbon)膜は、真空中において表面の未結合手ダングリングボンドが摩擦相手材に凝着し、高摩擦となることが知られている¹⁾。CVD 法においてダングリングボンド低減効果が報告されている水素含有膜²⁾、a-C:H 膜は、超高真空環境下で低摩擦となること、高温環境下での耐摩耗性に劣ることが分かっている³⁾。また、超高真空中で a-C:H(hydrogenated amorphous carbon film)膜が、物質の粘性と塑性の程度を示す粘塑性係数が、一定の閾値を超えて粘性を示すとき低摩擦を発現するとしている⁴⁾。研究では、PVD 法を用いた硬質膜で水素含有膜を作成し、宇宙空間での使用で想定される高温高真空環境下での摩擦特性を解明することを目的とする。

2. 実験方法

ta-C:H 膜の作成には IBA-FAD(Ion Beam Assisted-Filtered Arc Deposition)法を用いた。成膜の条件を Table 1 に示す。以降試験片の名称を、成膜時の水素流量が 0 sccm のものを ta-C、10 sccm のものを ta-C:H_10、30 sccm のものを ta-C:H_30

Table 1 Deposition condition

	ta-C	ta-C:H_10	ta-C:H_30
Substrate	SUJ2 disk		
H ₂ gas mass flow rate, sccm	0	10	30
Deposition time, min	5		

Table 2 Friction test condition

Normal load, N	0.19
Sliding speed, mm/s	15.7
Temperature, °C	23,100,200
Barometric pressure, Pa	$1 \times 10^5, 5 \times 10^{-4}$

と呼称する。成膜した ta-C:H 膜を用いて、SUJ2 球を相手材にボールオンディスクの摩擦試験を行った。Table 2 に摩擦試験の条件を示す。真空度の影響を評価するために大気中の 1×10^5 Pa と高真空中の 5×10^{-4} Pa に変化させて試験を行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 真空度が ta-C:H 膜の摩擦特性に及ぼす影響

大気中(1×10^5 Pa)と高真空中(5×10^{-4} Pa)の ta-C 膜の摩擦試験結果を Figure 1 に、ta-C:H_10 膜の摩擦試験結果を Fig. 2 に示す。400~500cycle の平均摩擦係数が ta-C 膜では大気中の 0.16 から高真空中では 0.31 と 93.8%増加した。それに

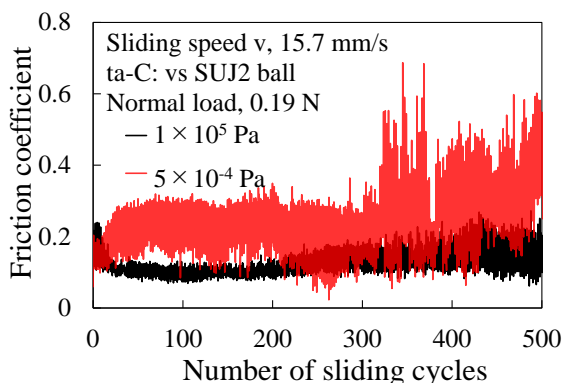


Fig. 1 Comparison of friction coefficient of ta-C film in ambient air and in high vacuum.

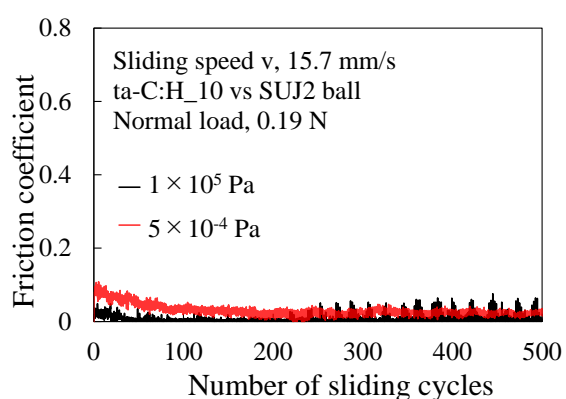


Fig. 2 Comparison of friction coefficient of ta-C:H film in ambient air and in high vacuum.

対し ta-C:H₁₀ 膜は 0.01 から高真空中では 0.02 と 50%増加した。摩擦試験後相手材である SUJ2 球の観察を行うと、ta-C:H 膜では接触部に黒い移着膜が観察されたのに対し、ta-C 膜の接触部には移着膜が観察されなかった。このことから、ta-C:H 膜は移着膜を形成することで低摩擦を発現すると考えられる。

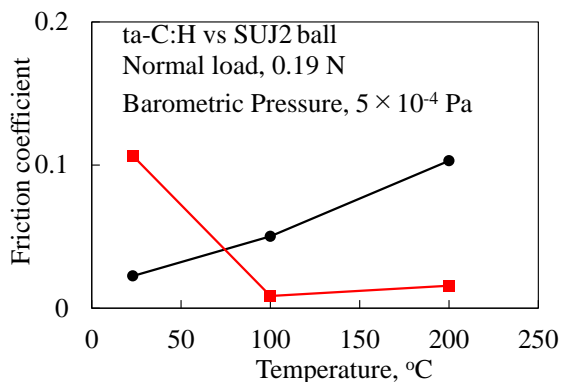


Fig. 3 Relationship between average friction coefficient of ta-C:H film and temperature in high vacuum.

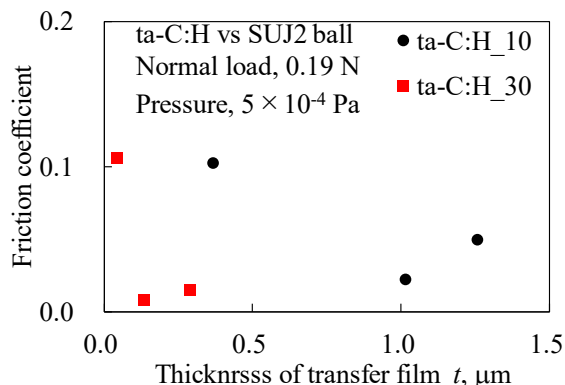


Fig. 4 Relationship between average friction coefficient of ta-C:H film and transfer layer thickness in high vacuum.

3.2 温度が ta-C:H 膜の摩擦特性に及ぼす影響

高真空中 (5×10^{-4} Pa) で温度を 23°C, 100°C 及び 200°C と変化させた, ta-C:H₁₀ 膜及び ta-C:H₃₀ 膜の 400~500 cycle の平均摩擦係数を Fig. 3 に示す。ta-C:H₁₀ 膜は 23°C, 100°C 及び 200°C の温度の増加に伴い平均摩擦係数は 0.023, 0.050 及び 0.103 と増加した。ta-C:H₃₀ 膜は 23°C, 100°C 及び 200°C の温度の増加に伴い平均摩擦係数は 0.106, 0.009 及び 0.016 と 23°C と比較して減少した。Fig. 4 に移着膜厚さと平均摩擦係数の関係を示す。ta-C:H₁₀ 膜及び ta-C:H₃₀ 膜共に移着膜厚さの増加に伴う摩擦係数の減少が確認された。Halling の薄膜固体潤滑理論では、硬質な基材の上に軟質な薄膜が存在する場合において軟質薄膜が低せん断であることによる摩擦抵抗低減効果と硬質基材による真実接触面積の低減効果の相互作用による低摩擦化が発現すると示している⁹⁾。そのため今回の摩擦試験においては、温度の変化に伴う低せん断な移着膜の厚さの増加によって、硬質基材の粗さの影響をに対する低せん断な移着膜の影響が大きくなったことで摩擦低減効果が得られたと考えられる。

4. 結言

本研究は、CVD 法より硬質な DLC 膜が作成可能な PVD 法を用いて作成した水素含有膜、ta-C:H 膜の高温高真空中での摩擦摩耗特性の解明を目的に行った。ta-C:H 膜は大気中及び高真空中共に摩擦相手材に移着膜を形成することで、摩擦係数 0.02 以下の低摩擦を示した。また、高真空中で温度を変化させると摩擦係数が変化した。これは温度を変化させることで、硬質基材の粗さ層を覆う低せん断な移着膜厚さが変化したためであると考えられる。

文献

- 1) J. Andersson, R. A. Erck. & A. Erdemir: Frictional behavior of diamondlike carbon films in vacuum and under varying water vapor pressure, *Surface and Coatings Technology*, 163, (2003) 535-540.
- 2) M. Fanciulli, G. Fusco & A. Tagliaferro: Insight on the microscopical structure of a-C and a-C:H thin films through electron spin resonance analysis, *Diamond and Related Materials*, 6.5-7 (1997) 725-729.
- 3) 岩木雅宣: DLC の真空中超低摩擦現象 *表面技術* 57.10 (2006) 701-701.
- 4) J. Fontaine, T. Le Mogne, J.L. Loubet. & M. Belin: Achieving superlow friction with hydrogenated amorphous carbon: some key requirements, *Thin Solid Films*, 482,1-2 (2005) 99-108.
- 5) J. Halling: Principles of tribology, Macmillan International Higher Education (1978)