

高温・高速条件下における PTFE/PPS 複合材の摩擦・摩耗に及ぼす高純度水素雰囲気の影響

Effects of High Purity Hydrogen on Friction and Wear of PTFE/PPS Composites under High Temperature and High Sliding Speed

九州大・工(学)*岡 泰生

九州大・工(非)続 加奈子

九州大・工(正)森田 健敬

九州大・工(正)澤江 義則

Taisei Oka*, Kanako Tsuzuki*, Takehiro Morita*, Yoshinori sawae*

* Kyushu University

1. はじめに

水素ステーションにて用いられる水素ガス圧縮機のシール材には、自己潤滑性に優れる PTFE 複合材が広く使用されている。PTFE は、PEEK や PPS のような硬質粒子を充てんし複合材とすることで、耐摩耗性が改善することが報告されている¹⁾。また、PPS を母材とした樹脂複合材では、熱分解や酸化により PPS 内の硫黄と金属相手面が反応することで転移膜を形成し低摩擦・低摩耗が実現すると報告されている²⁾。しかし PPS と PTFE からなる複合材を、高温かつ高純度の水素環境下で高速しゅう動させた際の転移膜形成については、そのメカニズムについて十分な知見が得られていない。本研究では、PTFE と PPS からなる樹脂複合材について、高温・高純度水素ガス雰囲気における摩擦・摩耗特性を評価するとともに、試験後の表面観察や表面分析により、水素雰囲気が転移膜形成に及ぼす影響を探索した。

2. 試験方法

実験はピン・オン・ディスク型の高度雰囲気制御摩擦試験機を用いて行った。ピン試験片には、(A)PTFE(80vol%)を母材とし、PPS 粒子(20vol%)を充てんした樹脂複合材、(B)PPS を母材とした市販しゅう動材の 2 種類を用いた。ピン試験片の形状は長さ 15 mm、直径 6 mm の円柱形である。ディスク試験片にはステンレス鋼 SUS440C を用いた。本実験では 2 m/s、4 m/s の 2 つのすべり速度、大気、水素の 2 つの雰囲気条件下においてしゅう動試験を行った。接触面圧は 1MPa、すべり距離を 30000m、ディスク表面近傍温度を 150℃として実験を行った。試験後はピン表面の形態をレーザー顕微鏡で観察し、ラマン分光分析と XPS 分析によりディスク上に形成された転移膜の化学組成を調査した。

3. 結果

3.1 摩擦試験

Fig1. に摩擦係数の経時変化を示す。(A)材料については、2 m/s では水素雰囲気の方が低摩擦を示すが、4 m/s にすべり速度を上げると、水素雰囲気中では過大摩耗を引き起こし摩擦係数も上昇したため、試験を途中で停止した。(B)材料については、2 m/s では大気中の方が低摩擦を示すが、水素雰囲気中でも 10000m以降は大気中とほぼ同じ摩擦係数 ($\mu \approx 0.25 \sim 0.3$) を示した。しかし、水素雰囲気では、2 m/s から 4 m/s へ条件を厳しくすると、摩擦が急激に上昇したため、試験を途中で停止した。

3.2 XPS 分析

すべり速度 2 m/s での試験後のディスク試験片に残ったしゅう動痕について、XPS 分析を行った結果を Fig.2 に示す。硫黄に関しては、Intensity を 10 ずつシフトしたものを示している。(A)材料において、大気中では、PTFE の存在が見られたが、水素雰囲気中では、PTFE に加え、PPS 由来の炭素や硫黄が存在した。(B)材料においては、大気中では 284ev 付近にグラファイトや PPS 由来の成分による緩やかな広がりをもつピークが見られるが、水素雰囲気中では、同様の位置にグラファイトによるシャープなピークが現れた。

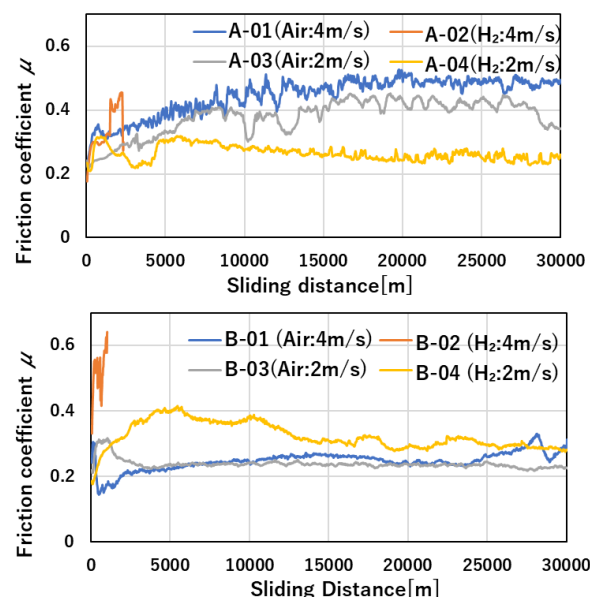


Fig.1 Friction coefficient with sliding distance

4. 考察

(A)材料では、大気中において、母材である PTFE の分子鎖が破断するとその端部が水が終端し、更に金属表面の酸化層とキレート結合することにより強固な転移膜が形成される。この転移膜上を樹脂表面に突出した PPS が荷重を支持しながら滑ることにより、母材である PTFE の摩耗の進行を抑制しながら摩擦も安定させたと考える。一方、高純度の水素雰囲気中では、残留水分が少ないためキレート結合による強固な転移膜形成が困難となり、PPS の相手面への凝着が生じたと考えられる。そのため、速度の上昇により PPS の凝着摩耗が進み、母材である PTFE の摩耗も進行したと考えられる。(B) 材料の場合、高温の大気中では酸化を伴う PPS の熱分解が起こる。それにより、C-S 結合をもつ PPS 由来成分による転移膜が金属相手面に形成されることで、摩擦係数を安定させていた。しかし、水素雰囲気中においては、大気中のような PPS の分解が進まず、充てんされたグラファイトからのカーボンにより転移膜が形成された。しかしグラファイトによる転移膜は、PPS の金属面への凝着を抑制するには不十分であることが XPS 分析の結果から示されている。そのため、すべり速度の上昇とともに PPS の凝着が急激に進め、激しい焼付を起こしたと考えられる。

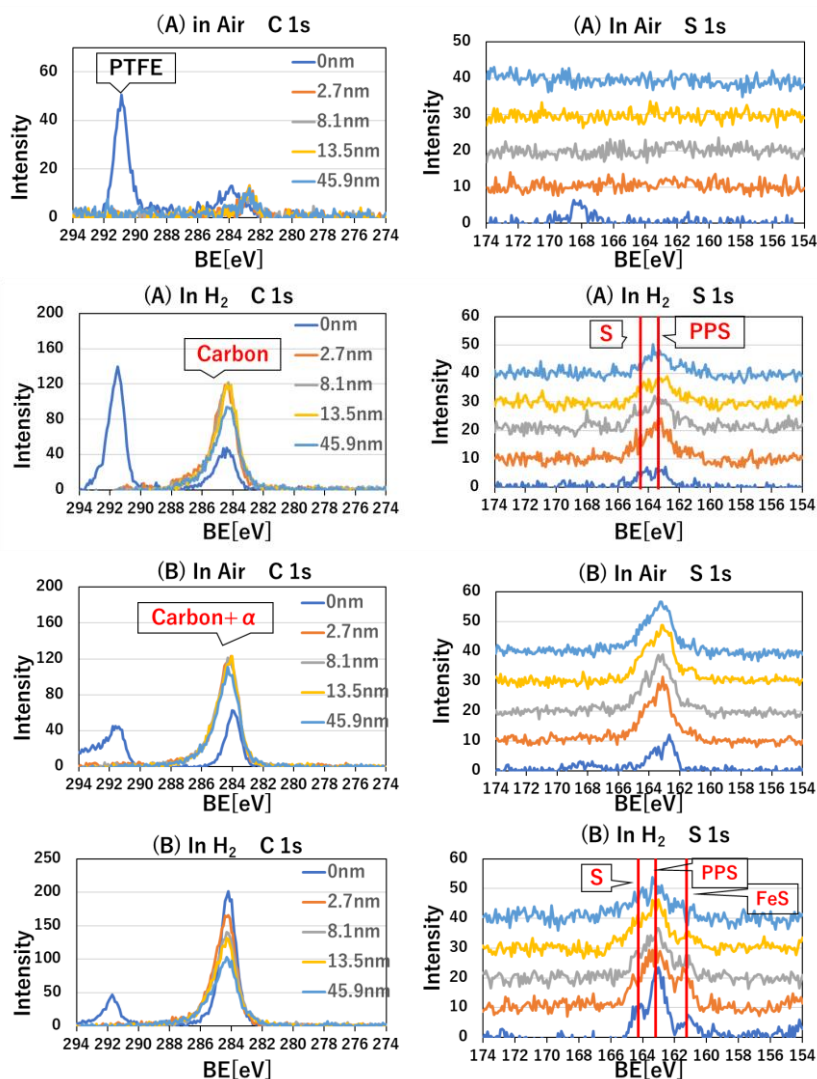


Fig.2 XPS analysis of (A) and (B) disc specimens in 2m/s

5. 結言

PPS 充てん PTFE 複合材や PPS 母材の複合材では、PTFE や PPS とその分解生成成分により転移膜が形成され、摩擦・摩耗挙動を安定させる。すべり速度 2 m/s 下では雰囲気によらず安定した摩擦・摩耗挙動が得られたものの、転移膜の構成成分は雰囲気により異なることが明らかとなった。すべり速度を 4m/s の高速条件とすると、雰囲気による転移膜形成の相違が摩擦・摩耗に大きな影響を及ぼし、高純度水素雰囲気中では激しい摩擦・摩耗挙動の悪化が認められた。これは、いずれの材料についても、母材となる PTFE あるいは PPS からの転移膜形成が抑制されたことによる。

謝辞

本研究に用いた樹脂複合材試験片は、すべてスターライト工業（株）からご提供いただいたことを付記する。

文献

- 1) B.J.BRISCOE, LIN HENG YAO and T.A.STOLARSKI, THE FRICTION AND WEAR OF POLY(TETRAFLUORO-ETHYLENE)- POLY(ETHERETHERKETON) COMPOSITES: AN INITIAL APPRAISAL OF THE OPTIMUM COMPOSITION, Wear, 108 (1986), pp.357-374.
- 2) Huimin Qi, Ligang Zhang, Ga Zhang, Tingmei Wang, Qihua Wang, Comparative study of tribochemistry of ultrahigh molecular weight polyethylene, polyphenylene sulfide and polyetherimide in tribo-composites, journal of colloid and interface science, 514 (2018), pp.615-624