

しゅう動経路と温度が PTFE 複合材料の摩耗に与える影響

Influence of the Sliding Path and Temperature on the Wear of PTFE Composites

日立・(正) *斎藤 颯 日立産機・(非) 小林 義雄 九大・(正) 陳 乾

九大・(正) 森田 健敬 九大・(正) 新盛 弘法 九大・(正) 澤江 義則

Hayate Saito*, Yoshio Kobayashi**, Qian Chen***, Takehiro Morita***, Hironori Shinmori***, Yoshinori Sawae***

*Hitachi, Ltd., **Hitachi Industrial Equipment Systems Co., Ltd., *** Kyushu University

1. 緒言

近年、産業機器や社会インフラ等の分野において、高効率化/性能向上/使用環境の多様化に伴い、しゅう動材が曝される使用環境は過酷化の傾向にある。例えば、圧縮機の吐出圧増加により材料表面にかかる面圧は増加し、その表面にはより高い摩耗耐久性能が要求される。そのため、耐摩耗性に優れた長寿命なしゅう動材の設計が必要となる。

ポリテトラフルオロエチレン (PTFE) は、耐熱性と耐薬品性に優れており、且つ固体潤滑性を有するため、無潤滑や貧潤滑下でのしゅう動材として幅広く使用されている¹⁾。PTFE の耐摩耗性向上には、金属、繊維材などのフィラとの複合化が有効である^{2,3)}。一方で、PTFE の摩耗は、曝される雰囲気やしゅう動経路などのしゅう動条件に影響を受けるが⁴⁾、未だ明確な摩耗メカニズムを得られていない。製品の長寿命化に向けて、樹脂の摩耗メカニズムに基づいた材料設計や選定が求められている。

本研究では、しゅう動経路と温度が PTFE 複合材の摩耗に与える影響を評価し、その摩耗メカニズムを把握することを目的とした。

2. 試験方法

各条件における PTFE 複合材の摩耗評価のため、ピンオンプレート摩擦試験を行った。ピン試験片は、治具を介して垂直上方向から荷重を印加し、二軸サーボモータにより二次元運動させることで、プレート試験片と摩擦させた。ピン試験片には、PTFE を母材とし、炭素繊維、ブロンズ、二硫化モリブデンを配合した複合材を用いた。プレート試験片には、表面にアルマイト処理を施したアルミダイカストを用いた。試験面圧 2.0 MPa、しゅう動速度 0.1 m/s の大気環境で試験した。しゅう動経路は振幅 25 mm の直線往復と、半径 11 mm の円弧とした (Fig. 1)。プレート試験片の表面温度は室温 (25°C±2°C) と 120°C とした。これらの条件は産業機器で摩耗が顕在化する環境を想定して設定した。しゅう動距離 5000 m の時点で試験を一度止め、摩耗量の計測と表面観察を行った。その後、しゅう動距離 10000 m まで試験した。

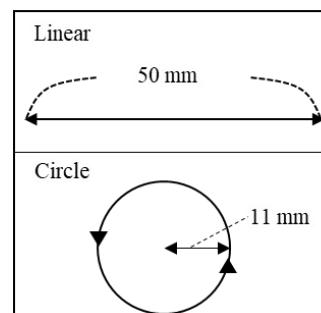


Fig. 1 Sliding paths of cylindrical pin in friction tests.

3. 結果

各条件における PTFE 複合材の比摩耗量を Fig. 2 に示す。エラーバーは標準偏差を示す。すべての条件に共通して、比摩耗量は摩擦前半 (0 m～5000 m) に比べて摩擦後半 (5000 m～10000 m) で減少した。しゅう動経路の比摩耗量への影響を示す。室温では、直線往復と円弧で比摩耗量が同オーダーとなり、その影響が確認されなかった。一方で、120°C では、円弧の方が直線往復に比べて約 10 倍大きな比摩耗量を示しており、しゅう動経路の影響が確認された。次に、温度の比摩耗量への影響を示す。直線往復の場合、120°C の比摩耗量は常温と比べて 2～3 倍程度増加した。それに対して、円弧の場合、120°C の比摩耗量は常温と比べて、摩擦前半は約 10 倍、摩擦後半は約 100 倍増加した。このことから、円弧の比摩耗量は、直線往復に比べて、温度の影響を受けやすいことが確認された。

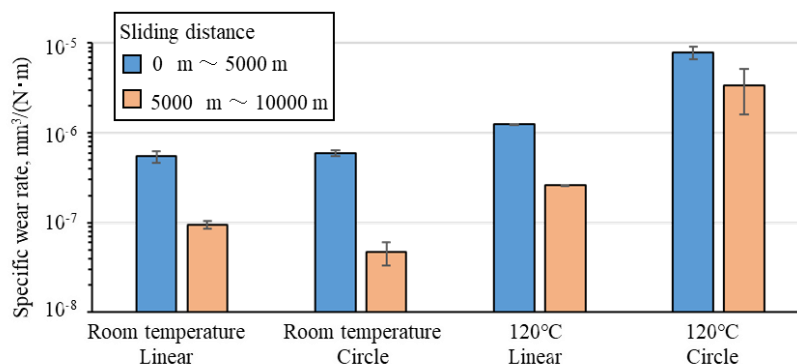


Fig. 2 Specific wear rate of PTFE composites for each sliding path and temperature in the initial and the steady wear regimes.

摩擦試験後の PTFE 複合材表面の光学顕微鏡像およびレーザー顕微鏡像を Fig. 3 に示す。直線往復では、室温 (Fig.3 (a), (e))) と 120°C (Fig.3 (b), (f))) に共通して、摩擦方向に凹部が確認された。特に、120°Cにおいて、大部分に凹部が確認された。一方で、円弧では、室温 (Fig.3 (c), (g))) と 120°C (Fig.3 (d), (h))) で表面の平滑性が異なっていた。摩耗が小さい室温では凹凸が少ない平滑な表面であるのに対し、摩耗が大きい 120°Cでは凹部が多く確認された。

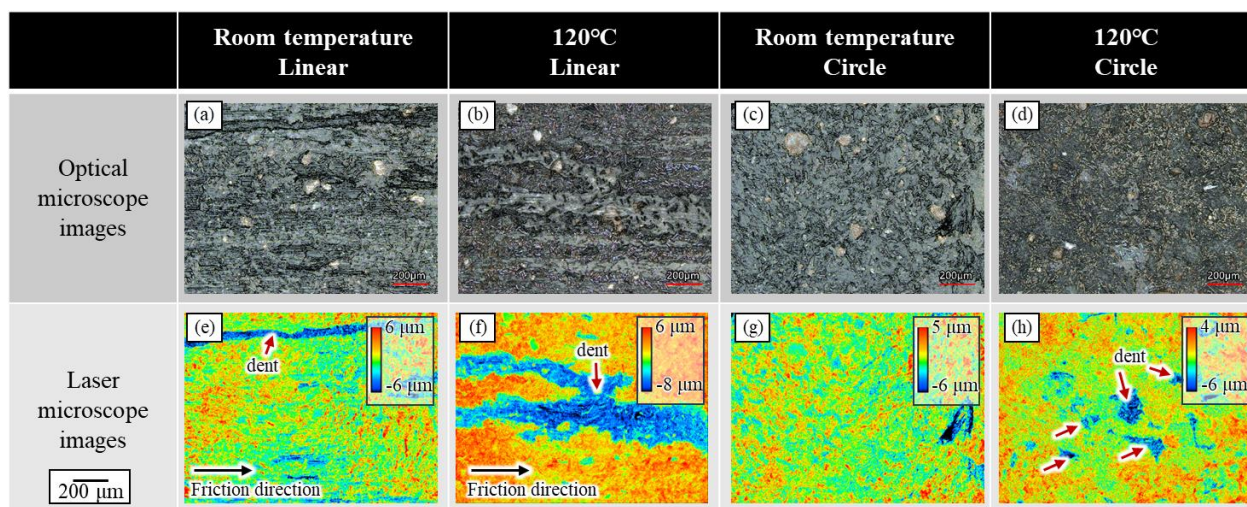


Fig. 3 Optical and laser microscope images of PTFE composite surfaces after each friction test.

4. 考察

しゅう動経路と温度が PTFE 複合材の摩耗に影響を与えるメカニズムを検討するため、摩擦試験後の PTFE 複合材の断面を SEM (Scanning Electron Microscope) で観察した (Fig. 4)。直線往復では、室温 (Fig.4 (a)) と 120°C (Fig.4 (b)) において、炭素繊維が摩擦方向に集積していた。また、集積した炭素繊維は、その摩擦表面側が削れており、相手材からの荷重を支持したことが示唆された。一方で、円弧の場合、室温 (Fig. 4 (c)) では表面に 2 μm 程度の薄膜が形成されていた。同時に実施した EDX (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy) より、この薄膜の主成分は C と F であり、主に PTFE や炭素繊維の摩耗粉で構成されたトライボ膜と考える。それに対して、120°C (Fig.4 (d)) では、表面が平滑でなくトライボ膜の形成量が減少した。また、Fig. 4 (d) の白四角部の高倍像 (Fig.4 (e)) から、炭素繊維と PTFE 母材との界面に隙間が確認された。このことから、120°Cの円弧では炭素繊維が脱落しやすい状態と示唆された。

以上の摩擦試験と表面化学分析の結果より、直線往復では、摩擦方向に炭素繊維が集積し、それらが荷重を支持することで、摩耗を抑制したと考える。炭素繊維が集積する挙動に温度依存性はないため、直線往復では円弧に比べて、摩耗に対する温度の影響が小さかったと推定する。一方で、円弧の場合、室温ではトライボ膜が形成されるため摩耗が低減したと考える。それに対して、120°Cでは、円弧由来の多方向せん断応力と、熱による PTFE 母材の酸化劣化により、PTFE 複合材表面でトライボ膜の破断と炭素繊維の脱落が促進されるため、摩耗が増加したと推定する。

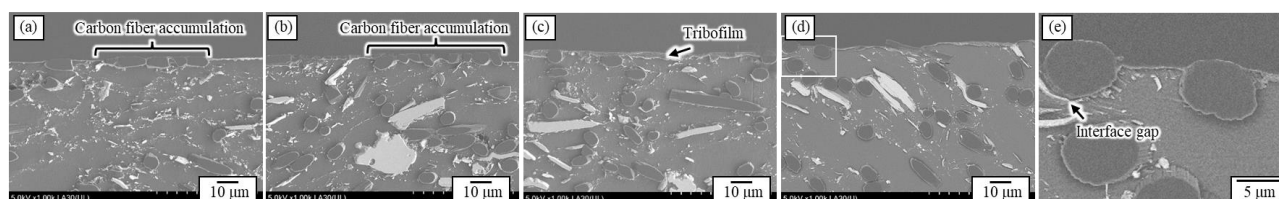


Fig. 4 Cross-sectional SEM images of PTFE composites after each friction test. (a)Room temperature/Linear, (b)120°C/Linear, (c)Room temperature/Circle, (d)120°C/Circle, (e)120°C/Circle (High magnification of Fig. 4(d)).

5. 結言

しゅう動経路と温度が PTFE 複合材の摩耗に与える影響を把握し、各条件における摩耗メカニズムを明らかにした。本知見は、過酷化する産業機器や社会インフラ等における長寿命なしゅう動材の設計や選定に有効となる。

文献

- 1) K. L. Harris, et. al., *Macromolecules* 48, 11 (2015), 3739.
- 2) K. Friedrich, *Adv. Ind. Eng. Polym. Res.* 1, 1 (2018) 3.
- 3) P. Johansson, et. al., *Tribol. Lett.* 2023, 71 (2023) 100.
- 4) 澤江, 人工関節用樹脂材料のバイオトライボロジー, *トライボロジスト*, 62(7), (2017)435-441.