

銅フィラの形態制御と表面処理による PTFE 複合材の耐摩耗性向上

Improvement of Wear Resistance of PTFE Composites by Controlling the Morphology and Surface Treatment of Copper Filler

日立・(正) *斎藤 颯 日立産機・(非) 小林 義雄 九大・(正) 新盛 弘法 九大・(正) 澤江 義則

Hayate Saito*, Yoshio Kobayashi**, 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耐摩耗性が要求される。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、しゅう動に伴うせん断応力によりフィラと母材との界面に負荷がかかることで、耐摩耗性を担うフィラが母材から脱落し、摩耗が増加する場合がある⁴⁾。製品の長寿化に向けて、過酷環境における更なる耐摩耗性向上が求められている。

筆者らは、銅フィラのマイクロ形状の適正化による PTFE 複合材の耐摩耗性向上を報告している⁵⁾。本研究では、過酷環境における PTFE 複合材の更なる耐摩耗性向上を目的とし、銅フィラの形状の他に、その粒径と表面処理が PTFE 複合材の摩耗に与える影響を評価した。

2. 実験方法

摩擦試験の模式図を Fig. 1 に示す。ブロック形状の試験片 (20×6×5 mm、面取り 0.5 mm) の上に、リング形状の相手材 (外径 13 mm、内径 9 mm) を設置し、相手材を偏心回転させることで摩擦試験を行った。試験前後における試験材の重量変化から比摩耗量を算出した。

試験条件は、面圧 0.91 MPa、摩擦速度 1.88 m/s、摩擦面温度 120℃とした。これらの条件は、産業機器において摩耗が顕在化する環境を想定して設定した。

本研究で使用した銅フィラの SEM 像を Fig. 2 に示す。形状は、球状 (Fig. 2(a))、小粒径の球状 (Fig. 2(b))、枝状 (Fig. 2(c))、小粒径の枝状 (Fig. 2(d))、表面処理された小粒径の枝状 (以降、処理枝状銅フィラ) (Fig. 2(e)) の 5 種類とした。これらの銅フィラ他、炭素繊維と二硫化モリブデンを含む PTFE 複合材を試験材とした。以降、球状銅フィラを含む試験材を材料(a)、小粒径の球状銅フィラを含む試験材を材料(b)、枝状銅フィラを含む試験材を材料(c)、小粒径の枝状銅フィラを含む試験材を材料(d)、処理枝状銅フィラを含む試験材を材料(e)と呼称する。相手材には、硫酸アルマイト処理したアルミニウムダイカストを用いた。

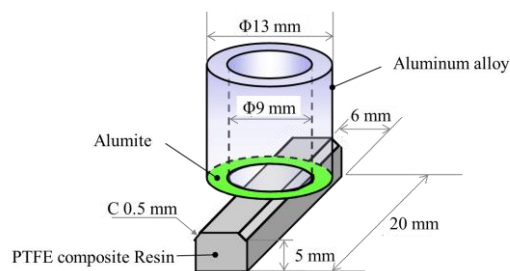


Fig. 1 Schematic diagram of the friction test.

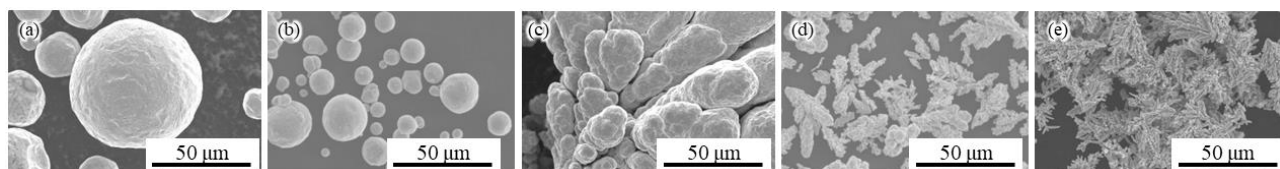


Fig. 2 SEM images for (a) spherical, (b) small spherical, (c) branched, (d) small branched and (e) small branched with chemical treatment copper fillers.

3. 結果

摩擦試験において、すべての材料が試験時間 30 min までの間で急激に摩耗が立ち上がり (初期摩耗)、その後、一定速度で緩やかに摩耗が進行した (定常摩耗)。各試験材の初期摩耗期および定常摩耗期の比摩耗量を Fig. 3 に示す。初期摩耗期において、材料(a)は 10^{-5} 程度、それ以外は 10^{-6} 程度の比摩耗量を示した。定常摩耗期においては、球状銅フィラを含む材料(a)および材料(b)は $5.0 \times 10^{-7} \text{ mm}^3/(\text{N} \cdot \text{m})$ 程度の比摩耗量を示した。また、枝状銅フィラを含む材料(c)と材料(d)は $2.5 \times 10^{-7} \text{ mm}^3/(\text{N} \cdot \text{m})$ 程度の比摩耗量を示した。それに対して、処理枝状銅フィラを含む材料(e)は、 10^{-8} 程

度の比摩耗量となり、摩耗が顕著に低減した。

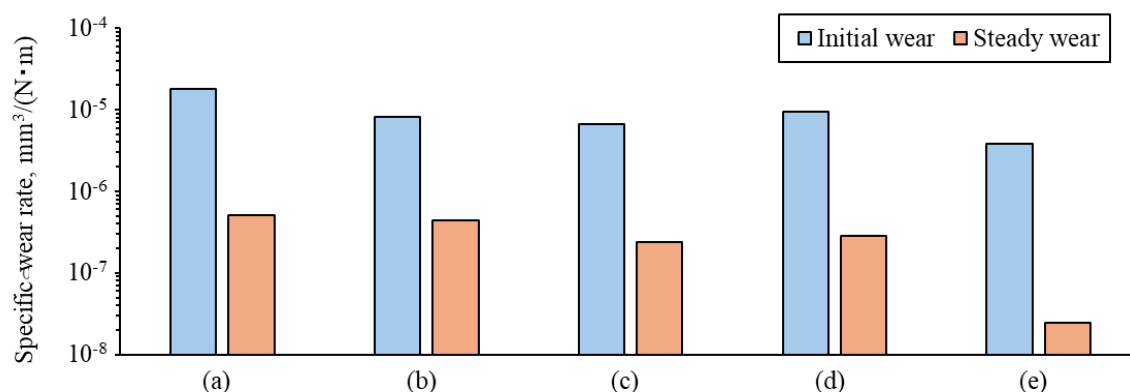


Fig. 3 Specific wear rate in the initial and the steady wear regimes. Materials (a), (b), (c), (d) and (e) include spherical, small spherical, branched, small branched and small branched with chemical treatment copper fillers, respectively.

4. 考察

各材料の摩耗が異なるメカニズムを検討するため、摩擦試験中に排出された摩耗粉を光学顕微鏡により観察した。各材料の定常摩耗期に排出された摩耗粉の低倍率および高倍率の光学顕微鏡像を Fig. 4 に示す。材料(a), (b), (c), (d)の場合には、銅フィラの脱落物が観察された。これに対し、材料(e)の場合には、銅フィラの脱落物が観察されなかった。これらの観察結果より、材料(e)では偏心回転のしゅう動に伴う連続的なせん断応力を受けても銅フィラが脱落しにくく、他の材料に比べて摩耗が低減したと考える。ガス吸着法と動的画像解析法により、材料(e)に含まれる処理枝状銅フィラは、材料(a), (b), (c)に含まれる銅フィラに比べて比表面積が大きいことに加えて、枝の各々が PTFE 母材のマトリクス中に埋没して物理的なアンカー効果を発現することを確認した。さらに、処理枝状銅フィラは、材料(d)に含まれる小粒径の枝状銅フィラに比べて、表面処理により母材との化学的親和性が高く、母材との密着性に優れていた。これらの物理的および化学的な密着により、材料(e)では銅フィラの脱落が抑制されたと推定する。

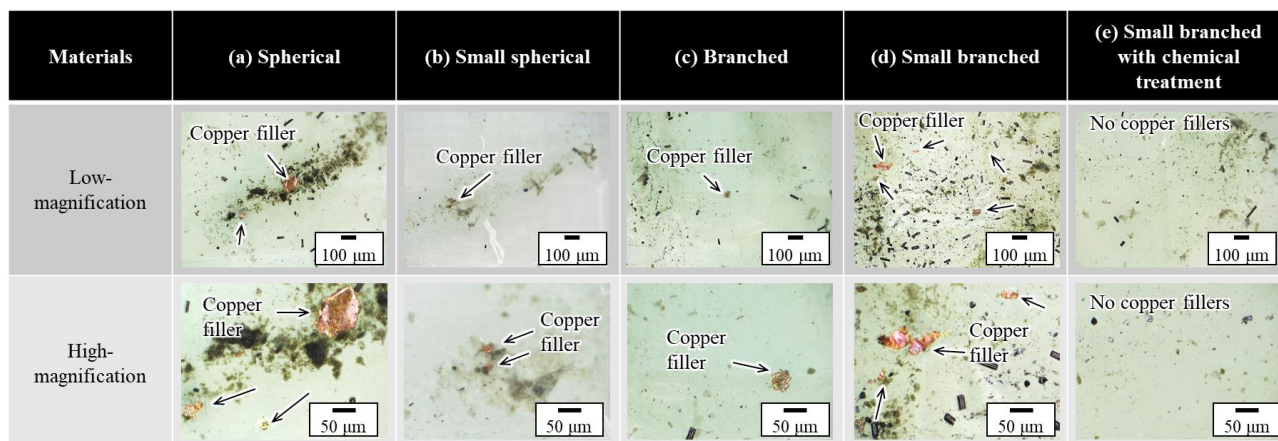


Fig. 4 Optical microscope images of wear debris generated during friction tests of PTFE composites containing copper fillers with different morphologies: (a) spherical, (b) small spherical, (c) branched, (d) small branched, and (e) small branched with chemical surface treatment.

5. 結言

銅フィラの形態制御と表面処理により、PTFE 母材からの脱落を抑制し、PTFE 複合材の耐摩耗性を向上できることを見出した。本知見は、産業機器や社会インフラ等におけるしゅう動材の過酷環境への対応に有効となる。

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) K. Friedrich, A. K. Schlarb, *Tribology of Polymeric Nanocomposites* (2012).
- 5) 斎藤颯, 小林義雄, 澤江義則, トライボロジー会議 2024 春東京, F14 (2024).