

銅フィラのミクロ形状が PTFE 複合材料の摩耗に与える影響

Influence of the Copper Filler Micro-Structure on the Wear of PTFE Composite Resin

日立・(正) *斎藤 鳩 日立産機・(非) 小林 義雄 九大・(正) 澤江 義則

Hayate Saito*, Yoshio Kobayashi**, 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、無潤滑や低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⁾。製品の長寿命化に向けて、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。

本研究では、過酷環境におけるPTFE複合材料の耐摩耗性向上に向けて、フィラの形状変更によるPTFE母材からの脱落抑制が有効と考え、銅フィラのミクロ形状がPTFE複合材料の摩耗に与える影響を評価した。

2. 実験方法

本研究で使用した銅フィラのSEM像をFig. 1に示す。形状は、球状(Fig. 1(a))、不定形(Fig. 1(b))、樹枝状(Fig. 1(c))、薄片状(Fig. 1(d))の4種類とした。これらの銅フィラの他、炭素繊維と二硫化モリブデンを含むPTFE複合材料を試験材とした。以降、球状銅フィラを含む試験材を材料(a)、不定形銅フィラを含む試験材を材料(b)、樹枝状銅フィラを含む試験材を材料(c)、薄片状銅フィラを含む試験材を材料(d)、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合金を用いた。

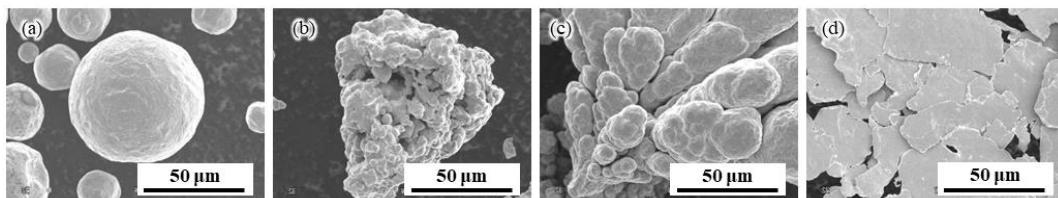


Fig. 1 SEM images for (a) spherical, (b) amorphous, (c) dendritic, and (d) flaky copper.

摩擦試験の模式図をFig. 2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°C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。

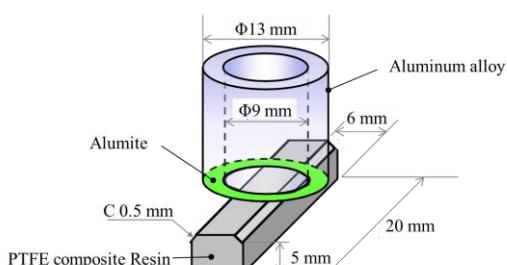


Fig. 2 Schematic diagram of the friction test.

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。すべての材料において、初期摩耗期には 10^{-6} オーダーの比摩耗量を示した。定常摩耗期においては、材料(a)および材料(b)は 10^{-7} オーダーの比摩耗量を示した。それに対して、材料(c)と材料(d)は 10^{-8} オーダーの比摩耗量を示した。特に、樹枝状銅フィラを含む材料(c)は、球状銅フィラを含む材料(a)と比べて約1/10の比摩耗量となり、摩耗が顕著に低減した。

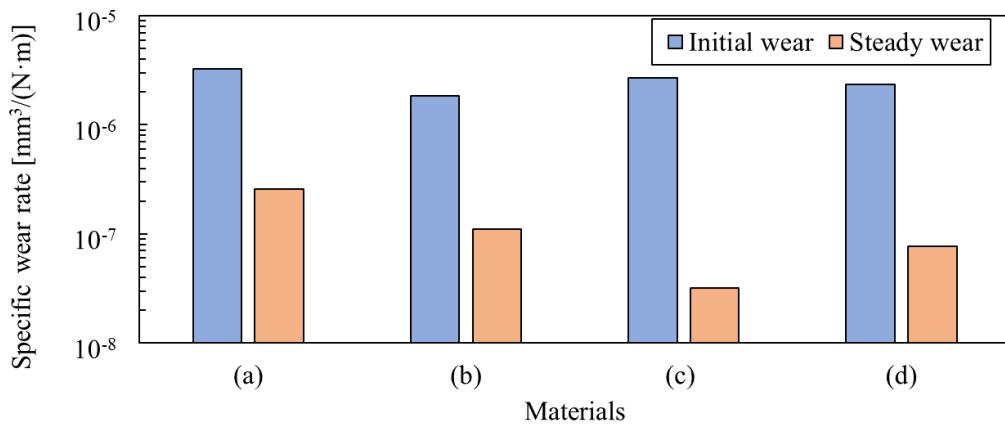


Fig. 3 Specific wear rate in the initial and the steady wear regimes. Materials (a), (b), (c) and (d) include spherical, amorphous, dendritic and flaky copper fillers, respectively.

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。各材料の初期摩耗期および定常摩耗期における摩耗粉の光学顕微鏡像を Fig. 4 に示す。材料(a)と材料(b)の場合には初期摩耗期において、当初配合した銅フィラと同サイズの脱落物が観察された。定常摩耗期には、脱落物のほか延伸された銅フィラも見られた。これに対し、材料(c)と材料(d)の場合には、初期摩耗期に銅フィラが観察されず、定常摩耗期には微細な銅フィラの破碎物のみ見られた。以上の観察結果より、材料(c)と材料(d)では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自体が脱落しにくく、材料(a)と材料(b)に比べて摩耗が低減したと考える。

銅フィラの脱落挙動がその形状により異なる要因について、各銅フィラの比表面積の観点から検討した。ガス吸着法から測定した各銅フィラの比表面積は、球状<樹枝状<薄片状<不定形の序列となった。本結果から、薄片状銅フィラは比表面積が大きいため、PTFE 母材との接触面積が大きくなり脱落が抑制されたと推定する。また、樹枝状銅フィラは、球状に比べて接触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することで、物理的なアンカー効果を発現する。これにより、PTFE 母材との密着が強固となり、銅フィラの脱落が抑制されたと考える。なお、不定形銅フィラは、比表面積が大きいものの、Fig. 1(b)に示す通り内部に貫通孔が多数存在し、真に PTFE 母材と接触しない領域が多いため、形状による脱落抑制効果を示さなかったと考える。

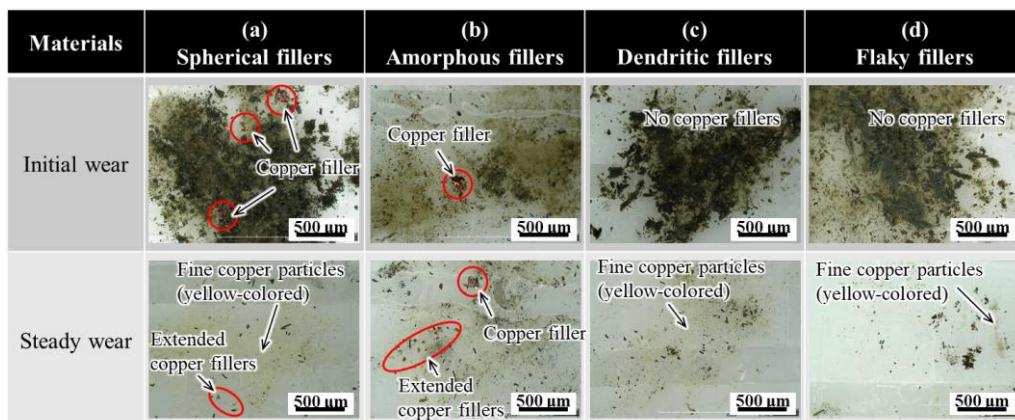


Fig. 4 Optical microscope images for wear debris in the initial and steady wear regimes. Wear debris was sampled in the friction tests for PTFE composite resins with (a) spherical, (b) amorphous, (c) dendritic and (b) flaky copper fillers, respectively.

5. 結言

銅フィラのミクロ形状を適正化することで、PTFE 母材からの脱落を抑制し、PTFE 複合材料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).