

高面圧域の POM-アクリル摩擦における摩耗粉発生に及ぼすしゅう動速度の影響

Effect of Sliding Velocity on Wear Debris Formation in POM-Acrylic Friction under High-Contact Pressure

兵庫県立大・工（正）*田中 芹奈 兵庫県立大・工（正）松本 直浩

兵庫県立大・ダイセル（正）須貝 幸廉 兵庫県立大・工（正）木之下 博

Serina Tanaka*, Naohiro Matsumoto*, Yoshiyuki Sugai*, **, Hiroshi Kinoshita

*University of Hyogo, **Daicel Corporation

1. はじめに

ポリアセタール（POM）は、コストと機械的強度のバランスに優れ、さらに自己潤滑性を有することから、近年エンブラ系摺動材料の代表的な存在となっている¹⁻²⁾。これまで本研究室では、摩擦界面のその場観察を行うことで、POMとソーダ石灰ガラスの摩擦・摩耗メカニズムの解明に取り組んできた。その結果、再凝着摩耗粉が摩擦・摩耗特性に大きな影響を与えることが示唆された³⁾。一方で、同じ透明材であるアクリル樹脂を POM の相手材として摩擦した場合、排出される摩耗粉の形状がソーダ石灰ガラスを相手材とした際と大きく異なることがわかった。これは、アクリル樹脂とソーダ石灰ガラスでは機械的特性が異なり、摩擦・摩耗メカニズムに違いが生じるためと推測されるものの、詳細は明らかになっていない。本研究では、POM-アクリル摩擦において、しゅう動速度が摩耗粉の発生に与える影響を明らかにし、摩耗粉の摩擦への寄与を考察した。

2. 実験方法

ピンオンディスク試験により摩擦特性を評価した。ピンには直径 4mm の POM 球（表面粗さ(Ra)：約 1.9 μm ）、ディスクには厚さ 3mm のアクリル樹脂を用いた（表面粗さ(Ra)：約 0.03 μm ）。ディスク中心から POM 球までの距離は約 0.02m であり、ディスク 1 周あたりの摩擦距離は約 0.13m である。荷重は 10N、しゅう動速度は 0.25m/s および 0.56m/s とし、すべり距離 900 m の範囲において大気中無潤滑状態で試験を行った。また、光学顕微鏡を用いて摩擦界面のその場観察を行い、さらに発生した摩耗粉を電界放出形走査電子顕微鏡 (Field Emission Scanning Electron Microscope; FE-SEM) を用いて観察した。

3. 結果と考察

Figure 1 (a) にしゅう動速度 0.25m/s および 0.56m/s のすべり距離 0m から 900m 間における摩擦係数を示す。なお、摩擦実験はそれぞれのしゅう動速度において各 3 回行った。しゅう動速度 0.25m/s では、摩擦係数はすべり距離およそ 0m から 450m 間で約 0.15 から 0.3 まで大幅に増加したが、その後はすべり距離 900m のおよそ 0.33 まで緩やかに増加した。一方でしゅう動速度 0.56m/s では、摩擦開始直後より摩擦係数はおよそ 0.38 と、しゅう動速度 0.25m/s と比較して 2 倍程度大きな値となった。しかしながら、その後すべり距離の進行に伴い摩擦係数は増加することなく、すべり距離 900m では、しゅう動速度 0.25m/s 時と同様におよそ 0.33 の値となった。

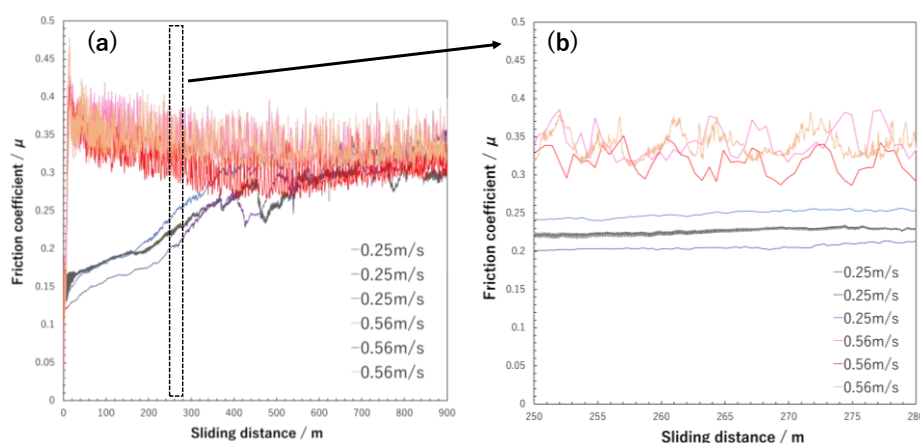


Fig.1 Friction coefficient for sliding distance between (a) 0m and 900m and (b) 250m and 280m

さらに Fig. 1 (b) に示すように、摩擦係数は小範囲（約 5m 間隔）で増減の“波”が摩擦実験開始から終了まで継続的に生じており、これはしゅう動速度 0.25m/s では観察されない現象であった。K. H. Hu ら⁴⁾は、このような摩擦係数の波の発生において、摩擦界面を流れる摩耗粉が大きく影響することを示唆したことから、しゅう動速度 0.25m/s および 0.56m/s では、摩擦界面を流れる摩耗粉の流れ方に大きな違いが生じると推測されるが、波が発生する詳細な原因は現時点で明らかになっていない。

摩耗粉が摩擦界面を流れる様子を観察するため、摩擦界面その場観察を行い、Fig.2 に各しゅう動速度のすべり距離 450m 時の摩擦界面の様子を示す。Figure 2 (a) よりしゅう動速度 0.25m/s の場合、摩耗粉は赤矢印で示す溝（しゅう動方向に沿って白く見える領域）を流れていく様子が観察され、時折、溝内でディスクの回転と共に流れてきた摩耗粉が次々と合体し流れずに停滞する様子も観察された。また、摩耗粉は溝以外の摩擦界面（黒く見える領域）を流れることはほとんどなかった。つまり、摩擦界面には、摩耗粉が流れやすい領域と流れにくい領域が存在することがわかった。

一方で Figure 2 (b) よりしゅう動速度 0.56m/s の場合、摩耗粉は点線で示す境界から一挙に流れ出し、摩擦界面全体を微少な摩耗粉がしゅう動方向に沿って個々に流れる様子が観察された。しゅう動速度 0.25m/s では摩耗粉が流れる領域が限定的であるのに対し、しゅう動速度 0.56m/s では摩擦界面全体を、摩耗粉が間断なく流れ、最終的には摩擦後方へと容易に排出された。

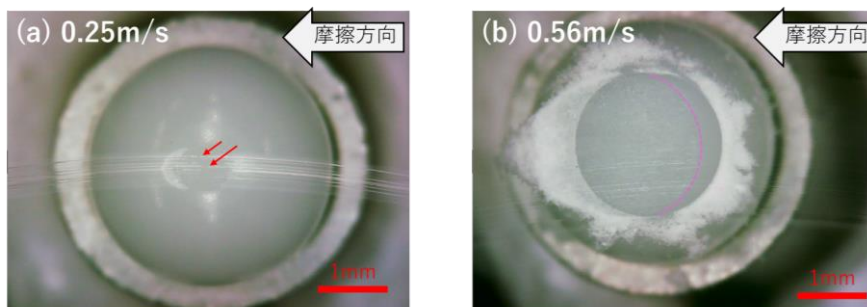


Fig.2 In-situ observation images of (a) 0.25m/s and (b) 0.56m/s after 450m sliding

Figure 3 に、レーザー顕微鏡を用いてすべり距離 450m 時のアクリルディスクの摩耗痕の表面形状を観察し、その 3D 画像と測定断面曲線（摩耗痕のみを抜粋）を示す。測定断面曲線が基準 $0\mu\text{m}$ よりも正であれば、移着が生じていると判断した。これより、しゅう動速度 0.25m/s では、局所的に移着が生じる一方で、しゅう動速度 0.56m/s では摩耗痕全体に移着層が形成されることがわかった。よって、Fig.2(a) で示した摩耗粉が流れにくい領域では、POM のアクリルディスクへの移着が支配的に生じる一方で、摩耗粉が流れやすい領域では、分厚い移着層は形成されることがわかった。他方でしゅう動速度 0.56m/s の場合は、摩耗粉が移着層上を流れることがわかった。このように、速度の違いにより POM のアクリルディスクへの移着の様子が大きく異なっており、これが摩耗粉の発生メカニズムの違いに大きく影響を及ぼすと推測される。

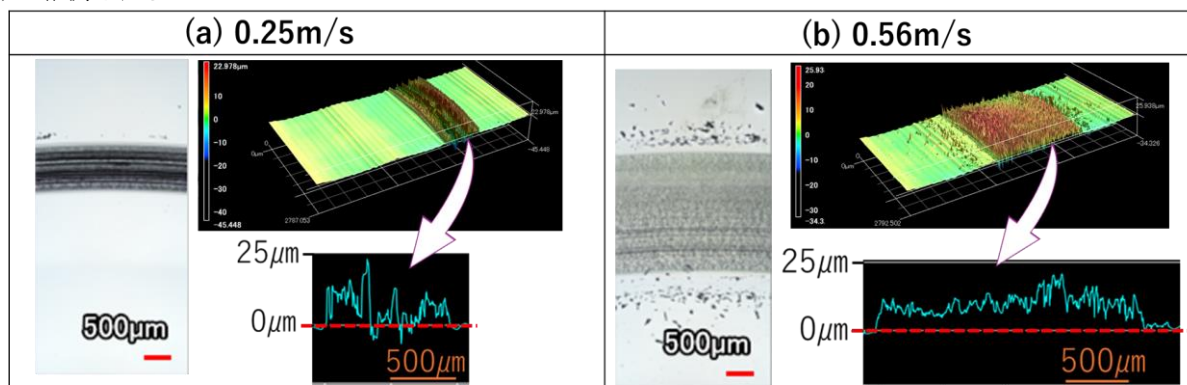


Fig.3 Observation of the surfaces for the acrylic discs of (a) 0.25m/s and (b) 0.56m/s after 450m sliding

Figure 4 にアクリルディスクの摩耗痕外に排出された摩耗粉の SEM 画像を示す。しゅう動速度の違いにより、摩耗粉の形状が大きく異なっており、しゅう動速度 0.56m/s ではロール形状の摩耗粉が無数に排出された。ロール状摩耗粉が形成されるためには、摩耗粉が POM とディスクの間で転がる必要がある。同時に、摩耗粉と POM の間、および摩耗粉とディスクの間の摩擦力が等しくなる必要がある。よって、しゅう動速度 0.25m/s では POM とディスクの凝着力と摩擦力が釣り合っていない一方で、しゅう動速度 0.56m/s では POM とディスクの移着層における凝着力と摩擦力が釣り合っていると推測されるものの、現時点でロール状摩耗粉が発生する詳細なメカニズムは明らかになっていない。

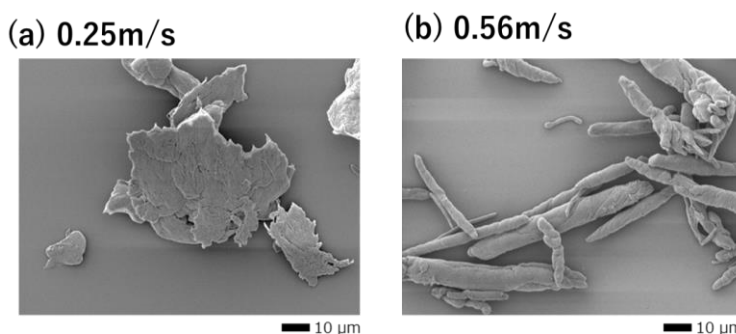


Fig.4 SEM images of wear debris on the acrylic discs of (a) 0.25m/s and (b) 0.56m/s after 450m sliding

4. まとめ

POM-アクリル摩擦において、摩擦界面のその場観察を行い、しゅう動速度の違いが摩耗粉の発生に与える影響を摩擦界面の表面形状の違いに焦点を当てて考察した。その結果、しゅう動速度の違いによって、POM のアクリルディスクへの移着の様子が異なるために、摩擦界面を流れる摩耗粉の流れ方に差異が生じ、さらに排出される摩耗粉の形状も全く異なった。そのため、しゅう動速度の違いによって摩擦係数にも大きな変化が生じたと推測される。

文献

- 1) 竹市 嘉紀：高分子材料のトライボロジー，表面技術，65，12 (2014)，562-567.
- 2) 西谷 要介：高分子トライボロジーの基礎 その1，トライボロジスト，62，6(2017)，393-398.
- 3) 木之下博，中山美聖，穂本典偉，田中芹奈，松本 直浩，須貝 幸廉：トライボロジー会議 2024 秋 名護 予稿集，393-394.
- 4) Hu KH, Wang J, Schraube S, Xu YF, Hu XG, Stengler R : Wear 2009; 266: 1198–207.