

すべり速度の変化に伴うシリカナノ粒子を担持させた窒化ケイ素と a-C:H ペアの水潤滑特性

Water Lubrication Properties of Silicon Nitride and a-C:H Pairs Supporting Silica Nanoparticles as a Function of Sliding Velocity

三友特殊精工（正）*堀場 夏峰 岐阜大（学）**葛谷 修造 岐阜大（正）**上坂 裕之

Natsuo Horiba*, Shuzo Kuzuya**, Hiroyuki Kousaka**

*Sanyu Tokusyu Seiko, **Gifu University

1. はじめに

水潤滑は環境負荷の少ない潤滑システムとして、ケイ素含有セラミックスにおいて様々な検討が進められてきている¹⁾。当研究グループは窒化ケイ素と a-C:H の組み合わせにおいて摩擦特性が良好であることを確認してきた²⁾。本研究では、窒化ケイ素にシリカナノ粒子を担持させて a-C:H とのペアで行うリングオンディスク試験において、すべり速度を変化させた場合の水潤滑特性を実験的に明らかにする。

2. 実験方法

2.1 実験装置および試験片

実験装置はエー・アンド・デイ製 EFM-3-H で、リングオンディスク試験を実施した。概略図を Fig.1 に示す。荷重は上部からロードセルを介して行われる。限界荷重は 5000 N である摩擦は下部側の回転機構で付与され、軸回転数は最大で 3350 rpm である。摩擦力は上部アームを介して摩擦トルクとして、定格荷重が 100 N のロードセルで検出される。試験片上部のボールベアリングを設置することでリング - ディスク試験片が試験開始直後から面当たりになる。摺動面は常に浸水状態を維持されるが、試験開始から終了まで潤滑水（精製水）は交換されることはない。

窒化ケイ素 (Si_3N_4) 製のリングと a-C:H 製ディスクの摩擦面に対してラップ処理を行い、面粗さを $\text{Ra}=0.1 \mu\text{m}$ 以下にした。また、比較として炭化ケイ素 (SiC) 製のリング／ディスク試験片を準備し、同上の処理を行った。

2.2 シリカ担持方法

水潤滑による低摩擦を発現させるために Si_3N_4 リング試験片の摩擦面に水分散ナノシリカ（日産化学社製スノーテックス ST-OS、粒子径は平均 9 nm、以後シリカ NP）を担持させた。大気圧プラズマ (Ar ガス) にて試験面を洗浄後、大気圧プラズマの噴流を利用して、スポットに保持した水分散ナノシリカを試験面に吹き付けた。その後、未担持のシリカ NP を除去する目的でふき取りを行った。SiC の両試験片も同上の処理を行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 実験結果

500 N の定荷重にて、すべり速度を変化させる摩擦試験を行った。初期荷重 50 N で 60 秒間じませた後、100 N から 500 N まで荷重を 30 秒ごとに 100 N 増やし、500 N に達したのち、すべり速度を 300 秒毎に 300, 100, 50, 10, 50, 100, 300 mm/s と変化させた。Figure 2 にはシリカ NP を担持させた SiC ペア、 Si_3N_4 と a-C:H ペア、シリカ NP を担持させた Si_3N_4

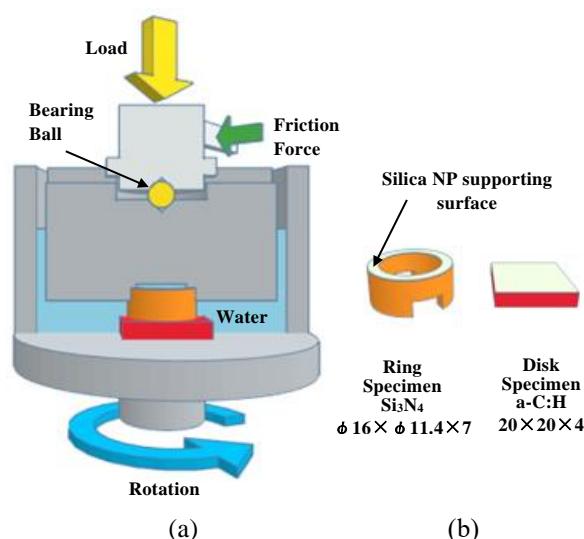


Fig. 1 Schematic images of (a)ring-on-disk friction apparatus and (b)image of specimens.

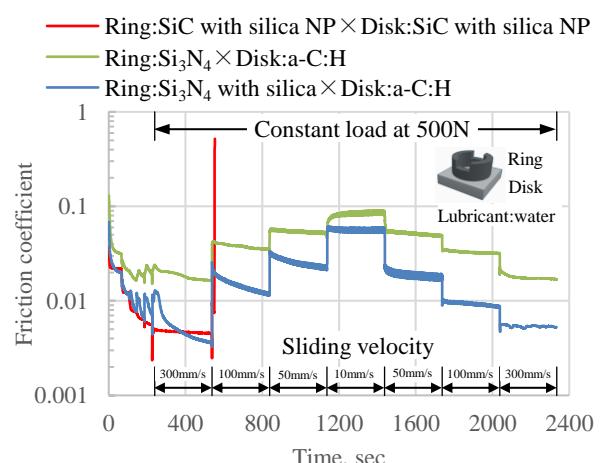


Fig. 2 An example of friction properties as a function of sliding velocity.

と a-C:H ペアにおける摩擦挙動の一例を示す。SiC ペアはすべり速度 300 mm/s までは超低摩擦挙動を示すが、すべり速度が 100 mm/s に変化した瞬間に高摩擦挙動を示した。Si₃N₄ と a-C:H ペアは、シリカ NP の担持有無に関わらず安定した摩擦挙動を示した。10 mm/s の低すべり速度では摩擦係数は上昇するものの摩擦挙動に破綻は見られず、すべり速度が再び早くなると低摩擦挙動を示した。特にシリカ NP が担持されたペアでは試験終了時に摩擦係数 0.005 であった。

Figure 3 は Fig. 2 で参照されたシリカ NP が担持された Si₃N₄ と a-C:H ペアの摩擦挙動を n 数 3 で示す。摩擦挙動にはばらつきがみられ、Pair 1,2 と比較して Pair 3 の摩擦係数は全体的に大きくなつた。

3.2 考察

Figure 3 の Pair 1 と Pair 3 について、表面状態を調べるために非接触三次元粗さ計（アメテック社製 Nexview NX2）による観察を行つた。Figure 4 (a), (b) は Pair 1 および Pair 3 の a-C:H 摩擦面の表面観察結果である。高さデータ画像上の横線における平均面粗さ Ra をグラフ化して高さデータ画面の上に掲載した。グラフの横軸 x はスケール、縦軸 y は表面高さである。Pair 1 の平均面粗さは Ra 1.95 nm であった。未摩擦面の平均面粗さ Ra 2 nm 前後であったことから、Pair 1 において摩擦面の損傷は少ないものと考えられる。一方、Pair 3 においては Fig. 4 (b) の x=1.7~2 mm の間で、摺動痕とみられる窪みが確認された。これは Si₃N₄ に担持されていたシリカ NP がなじみ過程時に凝集したことで a-C:H 面に疵が生成されたと考えられる。Si₃N₄ にも同箇所に表面の損傷が観察された。超低摩擦を確保するためには、摩擦面の平滑化が重要であることがわかつた。

そこで、平滑な平面の形成を促すため、事前に荷重 500 N、すべり速度 300 mm/s、すべり時間 1800 秒の予すべりを行つた¹⁾。予すべりの結果を Fig. 5 に示す。予すべりの時点では、摩擦係数が小さい実験群（Pair 11,12,13 / 摩擦係数 0.005~0.012）と大きくなるケース（Pair 14 / 摩擦係数 0.044）があった。摩擦試験を終了後、続けてすべり速度を変化させる実験を行つた結果を Fig. 6 に示す。この場合、予すべりで得られた摩擦係数が、すべり速度変化試験での摩擦挙動に反映され、予すべりの段階で摩擦係数が小さい実験群（Pair 11,12,13）では、復路のすべり速度 300 mm/s 時の摩擦係数は 0.005~0.018 となり、Pair 14 では 0.06 となった。

4. おわりに

シリカ NP を担持させた Si₃N₄ と a-C:H のペアにおいて荷重 500 N の条件ですべり速度を変化させる摩擦試験を実施した。300→10→300 mm/s のようにすべり速度を変化させたとき、低速度に移行すると摩擦係数は 0.06 前後まで上昇するが再びすべり速度が速くなると摩擦係数は低下した。また、予すべりで低摩擦挙動を確保することが、すべり速度変化時の摩擦係数の低下に重要であることがわかつた。

本研究の一部は、新あいち創造研究開発補助金（5 産科技第 218-23 号）により実施しました。深く感謝の意を表します。

文献

- 1) 足立：低摩擦システムのための摩耗-なじみとトライボ化学摩耗-, トライボロジスト, 64, 5(2019), p.288-293
- 2) 堀場・内山・上坂：ナノシリカ粒子を担持させた窒素ケイ素の水潤滑特性, トライボロジー会議 2023 春 東京, F9.

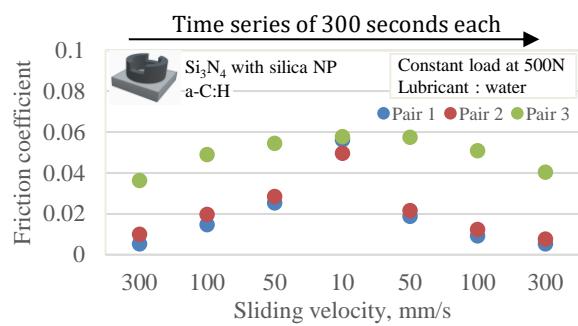


Fig. 3 Friction properties of Si₃N₄ supporting silica NP and a-C:H pairs as a function of sliding velocity.

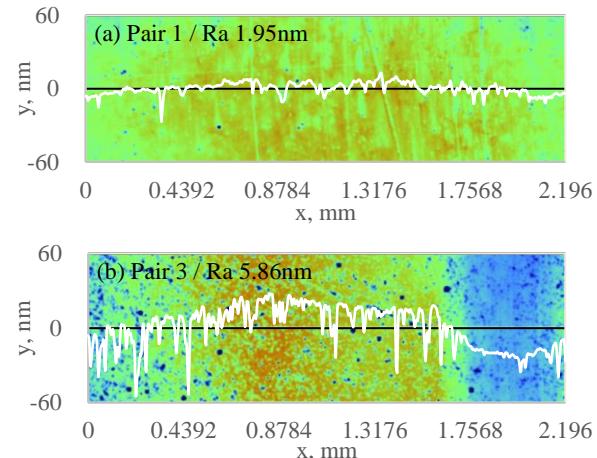


Fig. 4 Surface observation by non-contact 3D roughness meter, (a). a-C:H surface of Pair 1, (b). a-C:H surface of Pair 3.

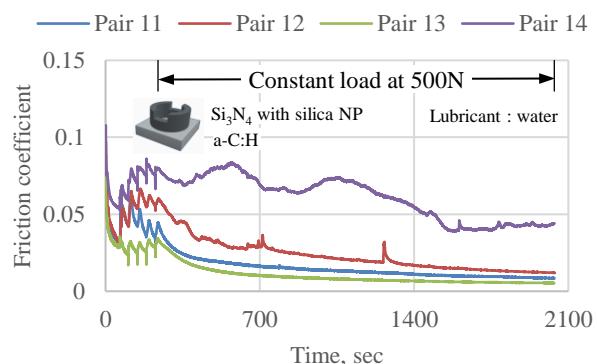


Fig. 5 Friction properties of Si₃N₄ supporting silica NP and a-C:H pairs as running-in of 1800 sec.

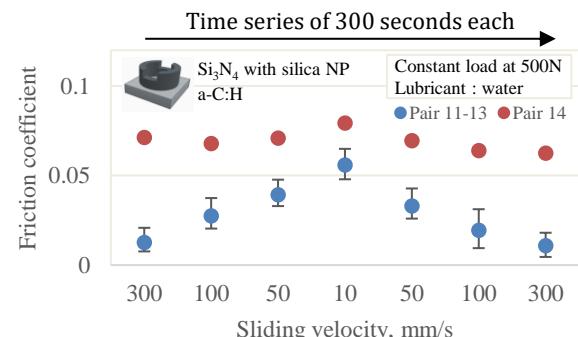


Fig. 6 Friction properties of Si₃N₄ supporting silica NP and a-C:H pairs after running-in of 1800 sec as a function of sliding velocity.