

窒化炭素膜を用いた摩擦システムにおける大気中低摩擦の安定性 -摩擦相手材の影響-

Stability of Low Friction in Tribosystems Using Carbon Nitride Coatings in Ambient Air -Effect of Friction Counter Materials-

東北大・工（院）*玉川 達紀 東北大・工（院）厨川 和哉 東北大・工（正）村島 基之
東北大・工（正）足立 幸志

Tatsuki TAMAGAWA, Kazuya KURIYAGAWA, Motoyuki MURASHIMA, Koshi ADACHI

Tohoku University

1. 緒言

DLC 膜の一種である水素含有窒化炭素 ($\text{CN}_x\text{:H}$) 膜は窒化ケイ素 (Si_3N_4) との摩擦において、摩擦係数 0.01 以下の超低摩擦発現界面が自己形成されることが報告されている^[1]。 $\text{CN}_x\text{:H}$ 膜を用いた低摩擦システムの応用範囲拡大のためには、 Si_3N_4 に代わるより汎用的な材料の導入が期待される。

そこで本研究では $\text{CN}_x\text{:H}$ 膜の摩擦相手材を工学的により汎用的な材料である軸受鋼 (SUJ2) を導入し、 $\text{CN}_x\text{:H}$ 膜との摩擦材としての可能性を明らかにすることを目的とした。特に、汎用的な使用を鑑み摩擦表面温度や相対湿度の影響に着目した。

2. 実験方法

赤外線加熱ヒータによる摩擦表面温度の制御および相対湿度を最小値として 0.01%RH までの制御が可能なボールオンディスク型摩擦試験機を用い、 Si_3N_4 ボールおよび SUJ2 ボールと $\text{CN}_x\text{:H}$ ディスクの大気中摩擦試験を実施した。 $\text{CN}_x\text{:H}$ ディスクは炭化ケイ素ディスク上に、メタンガスと窒素ガスを原料とした高周波プラズマ化学気相合成法によって、バイアス電圧-100 V で約 400 nm の膜厚を成膜した。摩擦試験中のディスク表面温度および雰囲気湿度は、熱電対、温湿度計および露点計を用いて、それぞれ 23-100°C、0.01-62.9%RH に制御した。また、荷重は 1 N、回転速度は 500 rpm 一定とした。

3. 実験結果および考察

$\text{CN}_x\text{:H}$ ディスクと Si_3N_4 ボールおよび SUJ2 ボールの摩擦対において、摩擦表面温度を室温及び 100 °C とした際の摩擦特性を Fig. 1 に示す。室温においては Si_3N_4 、SUJ2 ボールともに摩擦初期に 0.3~0.4 程度の高い摩擦係数を示す。 Si_3N_4 ボールではその後なじみを経て 0.13 程度の摩擦係数に落ち着く。 SUJ2 ボールでは Si_3N_4 ボールよりもなじみに要する時間が長いものの、最終的に同程度の摩擦係数を示す。一方、摩擦表面温度を 100 °C とすると、 Si_3N_4 ではなじみを経て摩擦係数は 0.01 程度まで低減し、摩擦試験終了まで超低摩擦を発現し続ける。

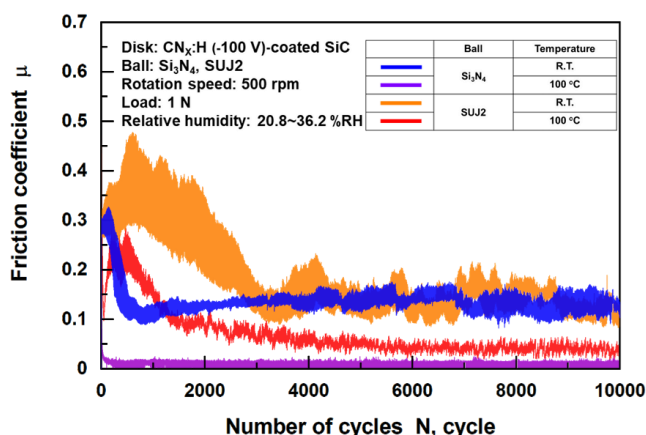


Fig. 1 Friction properties of $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{CN}_x\text{:H}$ and $\text{SUJ2}/\text{CN}_x\text{:H}$ at R.T. and 100 °C.

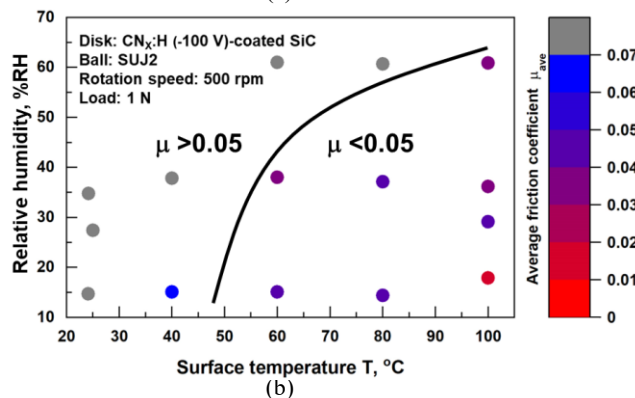
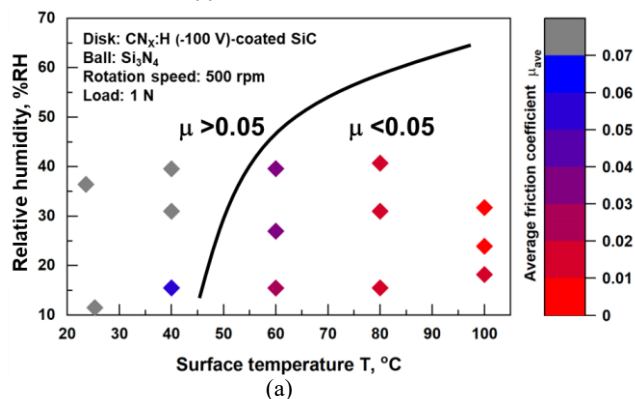


Fig. 2 Change in friction coefficient with changes in surface temperature and relative humidity (a) $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{CN}_x\text{:H}$ and (b) $\text{SUJ2}/\text{CN}_x\text{:H}$.

SUJ2 ボールでは Si_3N_4 ボールと異なり、摩擦初期の 50 サイクル程度かけて摩擦係数は 0.1 程度まで低減したのち、0.2 程度まで一度摩擦係数が上昇してから再び低減し、最終的な摩擦係数は 0.04 程度を示す。様々な表面温度、相対湿度下において、平均摩擦係数の大小をカラーマップにしたものを Fig. 2 に示す。 Si_3N_4 ボール、SUJ2 ボールともに高温、低湿度ほど摩擦係数が減少傾向にある。摩擦係数 0.05 以下を示す温湿度条件と 0.05 以上を示す温湿度条件は 2 つの材料間で大きな差は見られないが、高温、低湿度下においては Si_3N_4 ボールの方が SUJ2 ボールよりも低摩擦を発現しやすい。また、この図から相対湿度を大きく低減させることで室温においても低摩擦の発現が期待される。そこで、室温において 0.01%RH までの相対湿度下において摩擦試験を行った際の摩擦係数の相対湿度依存性を Fig. 3 に示す。 Si_3N_4 ボールの場合、相対湿度の低下に伴って摩擦係数は低減し、1%RH 以下で摩擦係数 0.05 以下の低摩擦を示す。一方で SUJ2 ボールの場合には 5%RH 以下の低湿度においても低摩擦は示しうるものの、摩擦係数 0.5 以上の非常に高い摩擦係数が発現し、摩擦係数 0.1 以下を示す場合と 0.5 以上を示す場合に二分化される。およそ 1.0%RH において摩擦試験を行った際の摩擦特性を Fig. 4 に示す。 Si_3N_4 ボール使用時には摩擦係数 0.05 以下の低く安定した挙動を示す。一方で SUJ2 使用時には、摩擦初期に一度摩擦低減するものの、摩擦係数が上昇せずに安定し摩擦係数 0.08 を示す場合と摩擦係数が大きく上昇し 0.75 程度の非常に不安定な摩擦係数を示す場合に分かれる。摩擦試験後の Si_3N_4 ボールおよび SUJ2 ボール摩耗痕の光学顕微鏡像 Fig. 5 に示す。 Si_3N_4 ボールでは、平滑な摩耗痕が形成され、移着膜は目視できない。一方で SUJ2 ボールでは、摩耗痕の一部あるいは全面に移着膜が形成された。SUJ2 ボール使用時に低摩擦を示す場合と高摩擦を示す場合の違いは、摩擦初期に酸化鉄と炭素のどちらが摩擦に支配的な摩耗面を形成するかに起因すると考えられる。

4. 結言

1. Si_3N_4 、SUJ2 ボールともに、高温、低湿度ほど摩擦は減少する。摩擦係数 0.05 以下を示す温湿度条件には 2 つの材料間で大きな違いは見られない。
2. 室温において、 Si_3N_4 ボール使用時には相対湿度の低下に伴って摩擦係数は減少し、1%RH 以下において摩擦係数 0.05 以下の低摩擦を示す。
3. 室温において、SUJ2 ボール使用時には 5%RH 以下において低摩擦を示すポテンシャルはあるものの、摩擦係数 0.1 以下を示す場合と 0.5 以上を示す場合に二分化される。

文献

- 1) 渡友美, 山田脩裕, 竹野貴法, 足立幸志, トライボロジー会議 2015 春 姫路 予稿集, (2015) 272-273.

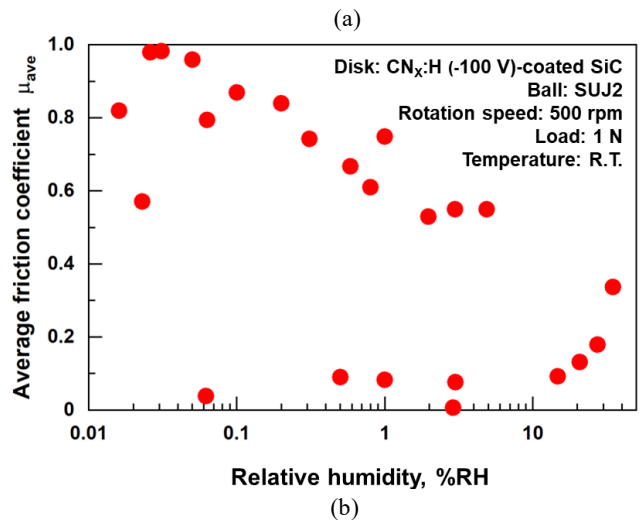
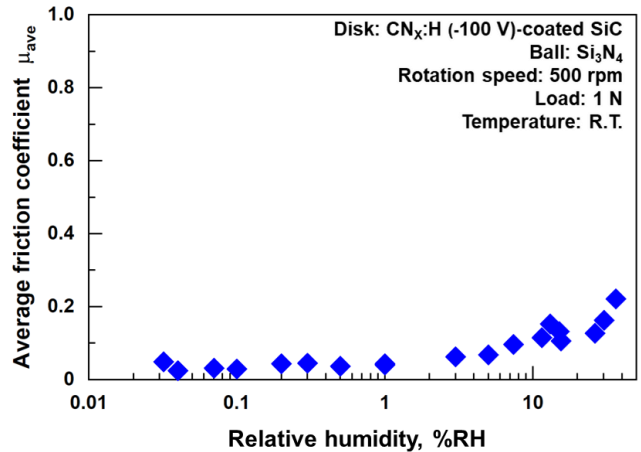


Fig. 3 Relative humidity dependence of friction coefficients of (a) $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{CN}_x\text{:H}$ and (b) $\text{SUJ2}/\text{CN}_x\text{:H}$.

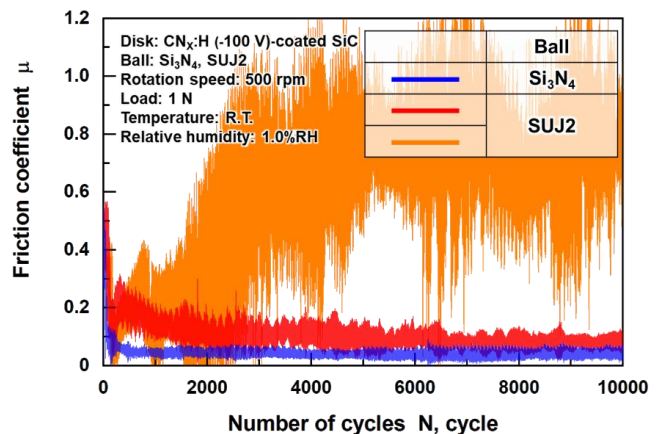


Fig. 4 Friction properties of $\text{Si}_3\text{N}_4/\text{CN}_x\text{:H}$ and $\text{SUJ2}/\text{CN}_x\text{:H}$ at 1.0 %RH.

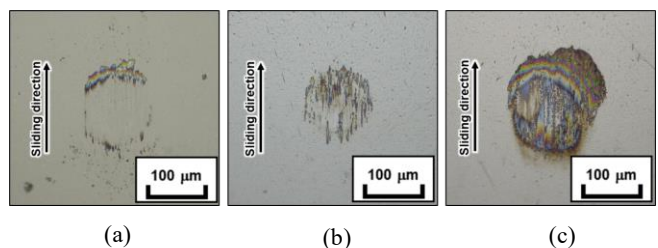


Fig. 5 Optical microscope images of wear scar on (a) Si_3N_4 , (b) SUJ2 ($\mu=0.08$) and (c) SUJ2 ($\mu=0.75$).