炭化ケイ素の水潤滑特性に及ぼすシリカ添加の影響

The Effect of Silica Addition on Water Lubrication Characteristics of Silicon Carbide

正 足立 幸志 (東北大) ○学 根本 聡 (東北大・院)
正 加藤 康司 (東北大)

Koshi ADACHI, Satoru NEMOTO, Koji KATO
Tohoku University, Aramaki-aza-aoba 6-6-01, Aoba-ku, Sendai 980-8579

Key words : Friction, Wear, Ceramics, Water lubrication, additive

1. 緒言

水中におけるケイ素系セラミックスのすべり摩擦において、0.002 以下の低摩擦係数が得られる⁽¹⁾。このような水中下におけるケイ素系セラミックスの低摩擦は、接触面で式(1)に示すトライボケミカル反応の結果、 SiO_2 水和物が生成され、それに伴い非常に平滑な接触面となることにより流体潤滑が実現するためであると考えられている⁽²⁾。

一方、水潤滑特性(摩擦・摩耗特性)をさらに向上させるために水に添加剤を加える研究が報告されている⁽³⁾⁻⁽⁴⁾。添加剤を加える際には、水潤滑のメリットである環境に優しいものであり、良好な潤滑特性を示すものを選定しなければならない。ケイ素系セラミックスの水潤滑において、水潤滑特性を向上させるためには、より早く平滑面を形成する為の機械的な研磨効果、化学的效果を持つ添加剤が有効であると考えられる。シリカ(SiO_2)はトライボケミカル反応の生成物であり、さらに研磨剤として使用されており機械的效果、化学的效果が期待できる添加剤である。

そこで本研究では、シリカを潤滑剤である水に添加することにより炭化ケイ素の水潤滑特性、特に摩擦・摩耗特性が向上する可能性を実証し、その機構を明らかにする。

2. 実験方法

本研究では、ボール・オン・ディスク型摩擦試験装置を用い、炭化ケイ素(SiC)同士の水中摩擦実験を行った。潤滑剤となる水は、精製水(大和薬品製)を使用した。試験片は、HIP加工された SiC ボールと常圧焼結法で製造された SiC ディスクを用いた。ディスクは直径 30mm、算術平均表面粗さ R_a は 0.01 μm 、ボールは半径 3.95mm、算術平均表面粗さ R_a は 0.01 μm であった。

また、ケイ素系セラミックスの水潤滑においては、摩擦初期から摩擦係数が減少していきなじみプロセスを経て低摩擦係数となる。水潤滑による低摩擦の発生機構を解明するためには、このなじみプロセスを明らかにすることが不可欠である。そこで、このなじみプロセスを観察する実験として、すべり距離 60m ごとに試験を中断し、ディスクの固定部分ごと取り外し、デジタルマイクロスコブ(KEYENCE 製)で試験片表面を観察した後、ディスク部を装置に再固定し、試験を再開するという手順を繰り返す実験を行った。摩耗量は摩耗痕の大きさから幾何学的に算出した。

3. 実験結果

Fig. 1 に水中および 2 種類の粒径のシリカを添加した水中における摩擦試験結果を示す。水にシリカを添加することにより、SiC の摩擦は、水中の場合と比較し、より早く、より安定に 0.02 以下の低摩擦係数となることがわかる。粒径が小さい 7nm の時、最も低い摩擦係数 $\mu=0.008$ が得られた。

Fig. 2 に水中およびシリカ添加水中における SiC の比摩耗量に及ぼすすべり速度の影響を示す。この比摩耗量はすべり距離一定(1500m)の条件下における実験結果から算出したものである。すべり速度の増加に伴い、比摩耗量が減少しており、シリカ添加水の方が水中と比較し、比摩耗量は約 20%減少することがわかる。

Fig. 1 Effect of silica size on friction coefficient under water lubrication.

Fig. 2 Effect of silica addition on specific wear rate under water lubrication.

Fig. 3 Relationship between friction coefficient and contact pressure in running-in process under water lubrication.

Fig. 5 Change of specific wear rate of ball in running-in process under water lubrication.

Fig. 4 Friction coefficient and wear volume of ball in running-in process under water lubrication.

Fig. 3 に水中およびシリカ添加水中下の SiC のなじみプロセスにおける摩擦係数に及ぼす接触圧力の影響を示す。シリカを添加すると、水中の場合より高い接触圧力状態でも低摩擦係数となることからわかる。低摩擦係数($\mu < 0.03$)となった接触圧力を比較すると、水中の場合では、18.9MPa、シリカ添加水の場合では、24.8 MPa であった。シリカを添加することにより、1.3 倍の接触圧力でも低摩擦係数を実現することが可能であるといえる。

4. 考察

Fig. 4 に水中のなじみプロセスにおける摩擦係数とボールの摩耗量の経時変化を示す。ボールの摩耗に伴い、徐々に摩擦係数が減少することがわかる。続いて Fig. 5 に水中およびシリカ添加水中のなじみプロセスにおけるボールの摩耗率の変化を示す。この摩耗率は、すべり距離 60 m ごとの摩耗量増加の割合である。いずれの場合においても摩擦初期には、 10^{-6} mm³/Nm オーダの高い摩耗率で摩耗が進行し、あるすべり距離において 3×10^{-7} mm³/Nm の低い摩耗率へ急激に遷移していることがわかる。これは支配的な摩耗形態が機械的摩耗から化学的摩耗に遷移したことを示している⁽⁵⁾。Fig. 4 における摩擦係数の経時変化と比較することにより、機械的摩耗による接触圧力の減少に伴い摩擦係数は 0.22 から 0.10 程度まで減少し、0.10 から水潤滑特有の 0.01 オーダの低摩擦係数を発生するためには化学的摩耗による摩耗面の平滑化が必要であることがわかる。シリカ添加水中においては、より高い接

触圧力状態においてもシリカの存在ゆえにトライボケミカル反応に起因した化学的摩耗が支配的となるため、より早い段階で低摩擦に遷移すると考えられる。

5. 結言

炭化ケイ素同士の水潤滑特性に及ぼすシリカ添加の影響について以下の結論を得た。

- (1) 荷重 5N、すべり速度 500mm/s の水潤滑条件下において、粒径 7nm のシリカを 0.01wt% 添加することにより、安定時の摩擦係数が 30% 減少し、安定した摩擦係数に移行するまでのなじみ距離が 50% 短縮する。
- (2) 荷重 5N、すべり速度 50~1300mm/s の水潤滑条件下において、粒径 2.7 μ m のシリカを 0.01wt% 添加することにより、炭化ケイ素ボールの比摩耗量が 20% 減少する。
- (3) 荷重 20N、すべり速度 30mm/s の水潤滑条件下において、粒径 2.7 μ m のシリカを 0.01wt% 添加することにより、0.03 以下の低摩擦係数が発生するための臨界接触圧力が 1.3 倍増加する。

参考文献

- (1) M. Chen, K. Kato, K. Adachi, Friction and wear of self-mated SiC and Si₃N₄ sliding in water, *Wear*, 250 (2001) 246-255.
- (2) H. Tomizawa and T. E. Fischer, Friction and Wear of Silicon Nitride and Silicon Carbide in Water: Hydrodynamic Lubrication at Low Sliding Speed Obtained by Tribochemical Wear, *ASLE Trans.*, 30, (1987) 41-46.
- (3) 広中清一郎, 川村大輔, 鈴木雅裕, エマルション潤滑における SiC および Si₃N₄ の摩擦摩耗特性, *トライボロジスト*, 48, 6 (2003) 486-493.
- (4) F. Honda, T. Saito, Tribochemical Characterization of the Lubrication Film at the Si₃N₄/Si₃N₄ interface sliding in aqueous solutions: *Applied Surface Science* 92 (1996) 651-658.
- (5) J. Xu, K. Kato, Formation of tribochemical layer of ceramics sliding in water and its role for low friction, *Wear*, 245, (2000) 61-75.