研 究

SiC, Si₃N₄, B₄C-TiB₂ および Al₂O₃ の摩擦摩耗特性

西山 勝廣, 佐川 慎悟
小嶋 琢, 梅川 荘吉

東京理科大学理工学部, 〒278 野田市山崎2641.

Friction and Wear of SiC, Si₃N₄, B₄C-TiB₂ and Al₂O₃

Katsuhiro Nishiyama, Shingo Sagawa
Taku Kojima and Soukichi Umekawa

Faculty of Science and Technology, Science University of Tokyo, 2641 Yamazaki, Noda 278.

Received August 31, 1992

Sliding friction experiments were conducted on SiC, Si₃N₄, B₄C-TiB₂ and Al₂O₃ ceramics under the condition of sliding contact with themselves in air. The test conditions included temperature up to 800°C, maximum surface velocity of 1.14m/min, and normal forces ranging from 4.31N(0.44kgf) to 104.57N(10.67kgf). Friction coefficient as low as 0.09 to 0.1 was obtained at 800°C for boron carbide-titanium diboride. The wear rates of Si₃N₄, SiC and Al₂O₃ ceramics increased with increasing temperature. However, the wear rate of B₄C-TiB₂ decreased with increasing temperature. For most of the sliding pairs, the wear rate was in the range of 10⁻⁵mm³/Nm to 10⁻⁴mm³/Nm, the single exception being a value of 10⁻⁸ mm³/Nm recorded for B₄C-TiB₂ at 800°C. The implications of wear mechanism for these results were shown.

1 緒 言

セラミックスは、軽量かつ高温強度、耐摩耗性、耐熱性、耐食性に優れており、現在コンピュータの磁気記憶部の軸受から溶鋼炉の鋼湯取り出し湯調整部(スライディングノズル)など幅広い分野への応用が試みられている。セラミックスを摺動部へ適用するためには、トライボロジ特性の解明が不可欠とな

る¹⁾。セラミックス系摺動材料に関する研究は、従来 Al₂O₃²⁻⁴⁾系のセラミックスが主流であったが、近年では、Si₃N₄⁵⁻⁶⁾、SiC⁷⁻⁸⁾、ZrB₂⁹⁾、TiB₂¹⁰⁾、BN¹¹⁾、WC-Co¹⁰⁻¹¹⁾、B₄C¹²⁾などの非酸化物系セラミックスに関する研究も行われるようになってきた。

本研究では、B₄C-50wt%TiB₂(以下BTC#5)、SiC、Si₃N₄、Al₂O₃について、同じ材質同士の擦り合わせに

よる摩擦摩耗特性を調べた。

2 試料および実験方法

2.1 試料

Al_2O_3 , SiCおよび Si_3N_4 の試料はいずれも市販のものであり, BTC#5はホットプレスによって自家製造したものである。試料の諸特性をまとめてTable 1に示す。摩擦試験に用いたチップとプレートの形状および寸法は, Fig.1に示すとおりである。

Table 1 Characteristics of the specimens.

	Density ρ , g/cm ³	Bending Strength σ_b , MPa	Vickers Hardness Hv, GPa	Fracture Toughness K _{IC} , MPa ^{1/2}
Al_2O_3	3.98	590	20.8	4.0
SiC	3.06	450	26.5	3.3
Si_3N_4	3.25	980	17.7	7.3
$\text{B}_2\text{C}-50\text{wt}\%\text{TiB}_2$	3.25	830	45.0	5.0

Fig.1 Dimension of the ceramics tips and plates.

2.2 実験方法

摩擦係数および摩耗量の測定は, 往復スライダ型摩擦摩耗試験機を用い, Fig.2に示すように摺り合わせた。摩擦係数の荷重依存性, 温度依存性, 繰返し回数依存性および比摩耗量の温度依存性を調べた。荷重依存性の測定は, 垂直荷重4.31-104.57N (0.44-10.67kgf), 室温で行い, 温度依存性は, 垂直荷重4.51N, 室温から800℃の範囲で行った。また摩擦回数依存性および比摩耗量の測定は, 垂直荷重104.57N, 温度を室温, 150℃, 300℃, 600℃の条件下で行った。最大摩擦速度は, 各測定とも1.14m/minとした。

Fig.2 Schematic drawing of friction and wear test.

3 実験結果および考察

3.1 摩擦係数の荷重依存性

Fig.3に摩擦係数と荷重の関係を示す。SiC, Si_3N_4 , BTC#5および Al_2O_3 の摩擦係数は, 荷重の増加と共に増加する傾向を示す。しかし, Si_3N_4 の場合には荷重

依存性が余り認められず, 0.25と最も低い値を示した。これは Si_3N_4 の破壊靱性値が他のセラミックスに比べ大きいことによるものと考えられる。

Fig.3 Influence of the applied load on the coefficient of friction.

3.2 摩擦係数の温度依存性

Fig.4に摩擦係数と温度の関係を示す。 Al_2O_3 の摩擦係数は, 25℃では, 0.2の値を示すが, 温度上昇と共に増加して375℃以上で約0.6となる。SiCの摩擦係数は, 300℃までは約0.6であるが, その後低下し400-600℃の範囲で0.4の値を示す。600℃を越えると摩擦係数は急激に増加する。 Si_3N_4 の摩擦係数は, 25℃で0.4を示し, 300℃まで温度上昇と共に減少し, その後増加し500-800℃で0.3の一定値を示す。BTC#5の摩擦係数は25℃で0.2を示し, 温度上昇と共に400℃付近まで増加し, その後低下して800℃で最小値の0.09を示す。このようにBTC#5は, 600℃以上の高温で極めて小さな摩擦係数を示すことがわかる。高温においてBTC#5の摩擦係数が小さい原因は, 摩擦面に生成した B_2O_3 膜による潤滑効果によるものと考えられる¹²⁾。

3.3 摩擦係数の繰返し回数依存性

Fig.5に摩擦係数と繰返し回数の関係を示す。 Al_2O_3 の場合には, 繰返し回数依存性が認められ, 高温になるほど摩擦係数は大きくなる。SiCおよび Si_3N_4 の場合, SiCでは300℃, Si_3N_4 では25℃の時摩擦係数の繰返し回数依存性は認められないが, 他の温度については, Al_2O_3 と同様な依存性が認められる。BTC#5の場合, 25℃では, 摩擦係数は繰返し回数増加と共に低下し, 600℃で約0.3の一定値を保持する。温度変化に対しては, 他のセラミックスとは逆に, 摩擦係数は温度上昇と共に低下する。

Fig.4 Temperature dependency of coefficient of friction.

Fig.5 Influence of the number of cycles on coefficient of friction.

Fig. 6 Temperature dependency of wear rate of ceramics tips.

3.4 比摩耗量と測定温度の関係

Fig. 6にセラミックスチップの比摩耗量と温度の関係を示す。Al₂O₃、SiCおよびSi₃N₄の比摩耗量は温度上昇と共に増大し、600℃では10⁻⁵mm³/N·mから10⁻³mm³/N·mの値を示す。一方、BTC#5の場合には、温度と共に減少し、600℃での比摩耗量は10⁻⁸mm³/N·mと極めて小さな値を示す。このようにBTC#5の比摩耗量が、他のセラミックスに比べ小さいのは、B₂O₃の生成による潤滑効果であると推定される。

3.5 摩擦面の観察

Photo. 1 Scanning electron micrographs of tip surfaces rubbed at 600°C.

Photo. 1は600℃におけるチップの摩耗面のSEM写

真である。Al₂O₃、SiCおよびSi₃N₄のチップは摩耗面に凹凸が観察できる。一方BTC#5の表面は平滑であり、わずかにTiB₂粒子とB₄C粒子の間に段差が認められる。これは、B₂O₃がB₄C相にトラップされることで、潤滑作用がより効果的に働くものと考えられる。

4 結 言

Al₂O₃、SiC、Si₃N₄およびB₄C-50wt%TiB₂ (BTC#5)のセラミックスについて、同じ材質同士の擦り合わせによる摩擦摩耗特性を調べた結果、次の結論を得た。

- (1) 摩擦係数は、荷重増加と共に増加し一定に達する。特にSi₃N₄の摩擦係数は0.25と低い値を維持した。
- (2) 摩擦係数の温度依存性については、600℃以上で、Al₂O₃およびSiCは急激に増加したが、Si₃N₄は一定値(0.3)を示した。一方BTC#5の摩擦係数は減少し、800℃で0.09の値を示した。
- (3) 比摩耗量は、BTC#5 < Si₃N₄ < SiC < Al₂O₃の順に大きくなった。特に600℃のBTC#5の比摩耗量は10⁻⁸mm³/N·mと最も小さな値を示した。
- (4) BTC#5の高温摩擦摩耗特性が優れている要因は、B₂O₃による潤滑膜の形成によるものと推定できる。

文 献

- 1) 岩佐美喜男, 木下実: セラミックス, 24 [2] (1989) 144.
- 2) R.P.Steijn: J. Appl. phys., 32 [10] (1961) 1951.
- 3) N.S.Eiss, R.C.Fabiniak: J. Amer. Ceram. Soc., 49 [4] 221.
- 4) 杉田忠彰, 鈴木和夫, 西川勝信, 中川多津夫: 粉体および粉末冶金, 22 [3] (1975) 107.
- 5) H.Tomizawa, T.E.Fischer: ASLE Trans., 29 [4] (1986) 481.
- 6) J.C.Sikra, J.E.Krysa, P.R.Eklun, R.Ruh: Ceram. Bulle., 53 [8] (1974) 581.
- 7) K.Miyoshi, D.H.Buckley: ASLE Trans., 22 [3] 245.
- 8) K.Miyoshi, D.H.Buckley: NASA Technical Paper., (1976)
- 9) D.H.Buckley: ASLE Trans., 21 [2] (1978) 118.
- 10) 杉田忠彰, 古河満彦, 安井平司: 粉体および粉末冶金, 15 [5] (1968) 227.
- 11) 杉田忠彰, 古河満彦, 安井平司: 粉体および粉末冶金, 15 [5] (1968) 233.
- 12) 西山勝廣: 粉体粉末冶金協会昭和63年度秋季大会講演概要集, (1988) 208.