自己潤滑性導電性摺動材料

小野 透^{*1)} 福田 応夫^{*1)} 植木 正憲^{*2)}
八幡 成夫^{*3)} 高野 公一^{*4)}

1. 緒 言

一般にセラミック材料は、高硬度で融点が高く、耐摩耗性を要求される部材として魅力的な特性を有している。しかしながら、セラミックス同士⁽¹⁾⁽²⁾、あるいはセラミックスと金属材料⁽³⁾の摺動の場合、セラミックスの脆性⁽⁴⁾や、金属のセラミックスへの凝着⁽⁵⁾などに起因して摩耗が起こることが知られている。筆者らは、これらの課題を解決する方策として、セラミックス中にグラファイト粒子を均一に分散させた、自己潤滑性に優れたセラミックス-グラファイト系複合材料の開発を行ってきた⁽⁶⁾。なかでも、炭化チタン-グラファイト(TiC-C)系複合材料は、幅広い組成範囲と、優れた機械的特性、易加工性、金属に匹敵する導電性など、高機能摺動部材として、幅広い応用が期待される。

2. 製 造 方 法

平均粒径 2 μm 、純度99%以上の TiC 粉末(高純度化学製)

表 1 TiC-C 複合材料の組成と密度。

		TiC	TiC-グラファイト複合材料			
グラファイト含有量	wt%	0	5	10	15	20
	vol%	0	10.4	19.6	27.9	35.4
密 度	g/cm^3	4.85	4.59	4.35	4.09	3.81
	%TD	98.2	98.4	98.6	98.0	97.7

TD：理論密度。

* 新日本製鐵株式会社技術開発本部先端技術研究所

1)主任研究員 2)主幹研究員 3)試験室工長 4)試験室掛員
Self Lubricant Electro-conductive Sliding Materials; Toru Ono, Kanao Fukuda, Masanori Ueki, Shigeo Yahata and Koichi Takano (Nippon Steel Corporation)
1993年1月29日受理

と、平均粒径 4 μm 、比重 2.26 g/cm^3 、純度99.9%以上のグラファイト粉末(Lonza 製)を、界面活性剤水溶液を媒体として、遊星型ボールミルを用いて混練し、吸引脱水、加熱乾燥後、粉碎して混合粉を得た。得られた混合粉を、1800~2100°C、20~40 MPa、Ar 中でホットプレス(HP)することによって焼成体を得た⁽⁷⁾。得られた焼成体の組成および密度を表 1 に示す。

3. 微 細 構 造

図 1 にグラファイト含有量 10 wt% の TiC-C 複合材料の研磨後腐食表面の光学顕微鏡写真を示す。写真中で黒い部分がグラファイト、白い部分が TiC であり、また HP 加圧方向は矢印で示す通り上下方向である。グラファイト粒子は主に TiC の結晶粒界に存在し、焼成中の加圧力による、HP 加圧直交方向への配向がみられるが、TiC 粒子は等方的で、加圧による粒形への影響は見られない。

また、TiC 粒子とグラファイト粒子の界面付近の高分解能走査型電子顕微鏡(SEM)による観察写真を図 2 に示す。

図 1 TiC-10 wt% C 複合材料の研磨後腐食表面の光学顕微鏡写真。

図2 TiC-グラファイト界面の高分解能SEMによる観察写真。

層間剝離したグラファイトの微小な薄片が、TiC粒子を覆うように存在しており、これが摺動材料として用いる場合に、優れた自己潤滑性を発揮する所以と考えられる。

4. 機械的特性および電気的特性

複合材料の、三点曲げ強さ(JIS R 1601)、破壊靱性値(JIS R 1607)、ビッカース硬さ(JIS Z 2244)、そして電気比抵抗(直流4探針法)とグラファイト含有量との関係を図3に示す。まず、三点曲げ強さは、5 wt%以下のグラファイト添加によって上昇し、5 wt%で最高値の約600 MPaに達した後、それ以上のグラファイト添加で徐々に低下する。これは、5 wt%以下のグラファイト添加の場合、グラファイト粒子がTiCの粒成長を抑制し、TiCの微細化による強度向上をもたらすが、一方、5 wt%以上の添加では、低強度第2相の複合効果に伴う強度低下が、TiC微細化による強度向上効果を上回るためと考えられる。次に、破壊靱性値は、グラファイト添加量5~10 wt%で最大となる。これは、グラファイト粒子による亀裂の架橋並びに偏向効果により亀裂進展抵抗が増大したためと考えられる。また、ビッカース硬度は、グラファイト添加量の増大に伴って直線的に低下し、その後の切削試験⁽⁸⁾においても、切削抵抗の低下に伴う著しい被削性の向上が見られた。

5. 摺動特性

ピン・オン・ディスク型摩耗試験装置を用いて、TiC-C複合材料のCu(OHFC)との乾燥摺動特性を、TiC単体のそれと比較しながら調査した。

図4にそれぞれの場合の摺動試験中の摩擦係数の推移を示す。ここで縦軸が摩擦係数、横軸が摺動開始からの時間である。TiC単体では、試験開始約400周後から摩擦係数のばらつきに変動が生じ、大きなばらつきを示した周と小さなばらつきを示した周が不規則に発生した。また、平均値は5000 s後もなお増加傾向にあることがわかる。一方、10 wt%の

図3 TiC-C複合材料の諸特性とグラファイト含有量との関係。

図4 動摩擦係数の時間的推移。

グラファイトを添加した複合材料の場合、摩擦係数の変動は全般にわたって小さく、試験開始後約100周以内にはほぼ一定の値を示すようになり、グラファイトによる摺動特性の著しい改善効果が見られた。

図5に摩擦係数とグラファイト含有量との関係を示す。この図から、摩擦係数はグラファイトの添加に伴ってほぼ直線的に低下しており、また摩擦係数のばらつきも小さくなっていることがわかる。

図5 動摩擦係数とグラファイト添加量との関係。

図6 摺動痕のSEM写真。
(a) TiC単相, (b) TiC-10 wt% C複合材料, 矢印は摺動方向。

図6にTiCとそれに10 wt%のグラファイトを添加した複合材料の、試験後の摺動痕のSEMによる観察結果を示す。TiCでは、摺動部全体にピン材であるCuの著しい凝着が見られるが、さらに詳細に観察すると局所的には、Cuの凝着が著しい部分(白く見える部分)と、ほとんど凝着のない部分(黒く見える部分)によって構成されている。また、Cuが付着していない部分をよく見ると、その形状および寸法が標準的なTiCの結晶粒径に一致していることから、TiCとCuの親和性には結晶方位依存性があるものと推定できる。また、モノリシックTiCの摩擦係数(0.6)は、Cu同士の乾燥摩擦係数0.55にはほぼ等しく、一旦Cuが凝着した場合、ピン材との共擦りの状態となるものと考えられる。一方、10 wt%のグラファイトを含む複合材料の場合、濃い灰色に見えるグラファイト、薄い灰色に見えるTiC粒子とともにCuの凝着はほとんど見られず、一部にグラファイトの剝離、あるいは脱落によると考えられる痕跡が見られる程度の損傷状況である。以上の観察結果から、基本的にCuはTiCに凝着し易いが、グラファイト含有材においては、図2の観察結果から推定したように、摩擦力によって層間剝離したグラファイトが、TiCとCuとの間に介在し、Cuの移着を抑制することによって、摺動特性が改善されたものと考えられる。

6. 結 論

- (1) ホットプレス焼結法によって、広範な配合組成の炭化チタン-グラファイト系複合材料を製造した。
- (2) グラファイトの添加によって、曲げ強さおよび破壊靱性値は上昇した。
- (3) グラファイトの添加に伴ってビッカース硬さは低下し、被加工性が向上した。
- (4) グラファイトの添加によって、TiCとCuとの乾燥摩擦係数は顕著に低下した。
- (5) グラファイトの添加によって、CuのTiCへの移着が顕著に抑制された。これは、摩擦力によって層間剝離したグラファイトが、TiCとCuの間に介在し、凝着を妨げることにより自己潤滑性を発揮したのと考えられる。

文 献

- (1) A. Scopp, M. Woydt and K. H. Habig: Trib. Int., **23**[3] (1990), 189.
- (2) M. Woydt and K. H. Habig: Trib. Int., **22**[2] (1989), 75.
- (3) K. Miyoshi and D. H. Buckley: Wear, **82**(1982), 197.
- (4) A. G. Evans and D. B. Marshall: *Fundamentals of Friction and Wear of Materials*, D. A. Rigney Ed., ASM, (1981), 439.
- (5) K. Miyoshi: Wear, **141**(1990), 35.
- (6) 小野 透, 福田応夫, 遠藤英宏, 植木正憲: 材料システム, **11**(1992), 57.
- (7) 小野 透, 福田応夫, 遠藤英宏, 植木正憲: 特願平3-311436.
- (8) 小野 透, 阿部耕三: 未発表.