K6-18

Ti 基複合材の耐摩耗性に及ぼす強化材と母材の影響

Effect of Reinforcement and Matrix on Wear Resistance of Titanium Matrix Composites

○戸円和博[1]，小宮良樹[2]，出井　裕[2]
*Kazuhiro Toen[1], Yoshiki Komiya[2], Hiroshi Izui[2]

Abstract: Titanium and titanium alloys are excellent in terms of light weight, high specific strength and high corrosion resistance. Furthermore, they are good compatibility with CFRP as compared with aluminium. However, titanium is inferior to other metals in terms of processing costs and wear resistance. In this study, the composites were sintered by SPS (Spark Plasma Sintering) method from two types of titanium powder (HDH powder, GA powder) with different shape as the matrix, and TiB or TiC as the reinforcement in order to improve their properties. As a result, wear resistance of the composites was improved as compared with pure titanium. Moreover, it is clarified that wear resistance depends on　reinforcement volume fraction and particularly improved when the TiC added 25vol.%.

１．研究背景

Ti は高比強度，高疲労強度，耐食性が高いとともに, 近年航空機産業に急激に需要が拡大している炭素繊維強化プラスチック(CFRP)との相性が良いことが長所として挙げられる. しかし, Ti の材料・加工費が高価で，耐摩耗性に劣るということが短所である[1] [2]. そこで，粉末冶金法の一つである SPS 法を用いることで，これらの短所の改善が望める. まず,「粉末冶金法」は完成形に近い形状に作製することができるため，材料・加工費が削減することができる．また，一般に Ti は硬質なセラミックを添加して「複合化」することで，引張特性や耐摩耗性が向上するとされている．この 2 点を利用して Ti の短所の改善を図る.

これまでの研究において，TiB／Ti，TiC／Ti の複合材の強化材また母材の形状・粒径が大きく引張特性に影響を及ぼすことが分かっている[3]．しかし，TiB／Ti，TiC／Ti の複合材のさまざま研究はされているが，強化材や母材の種類が摩耗特性や機械的特性に及ぼす影響に解明されていない点が多い．特に，耐摩耗性に関するものはほとんど存在していない．このため，本研究は SPS 法を用いて作製した TiB／Ti，TiC／Ti 複合材の母材と強化材の耐摩耗性に及ぼす影響について調査した.

２．実験条件及び方法

２．１　供試材料

母材にはガスアトマイズ粉末(GA45，トーホーテック㈱製)および水素化脱水素粉末(HDH45，㈱大阪チタニウムテクノロジーズ製)の粒径 45μm 以下の純 Ti を用いた．また，強化材には TiB_2（新日本金属㈱製），TiC（新日本金属㈱製）を使用した．これらの粉末を遊星ボールミル（フリチュ・ジャパン㈱製）によって混合した．強化材の体積含有率は 0，5，15，25vol.％とした．すなわち，各々2 種類の母材と強化材，さらに強化材の体積含有量 4 種類の 16 種類の複合材を作製した.

２．２　複合材の作製法

高強度グラファイト製焼結型に母材と強化材の混合粉末を充填し，その後に，放電プラズマ焼結機（SPS－3.20MK－Ⅳ，旧 住友石炭鉱業㈱）を用いて焼結を行った．作製条件は昇温速度 20℃／min，焼結温度 900℃，焼結時間 10 分，焼結圧力 70MPa, 焼結中の真空度は 10Pa 以下とし, 冷却方法は炉冷とした. 摩耗試験片の寸法は□35×4t mm である.

２．３　摩擦摩耗試験方法

試験片はエミリー研磨紙によって#1500 まで研磨した．複合材の摩擦摩耗試験は大気中で無潤滑による．3 ボールオンディスクで行った．試験条件は，加圧力 23N，滑り速度 100mm／s，滑り距離 500m とした．耐摩耗性は比摩耗量測定とデジタルマイクロスコープ（DSX510：オリンパス㈱）による表面観察を用い評価した．ここで，比摩耗量とは試験前後での単位滑り距離･荷重当たりの体積損失を表している.

１：日大理工・院（前）・航宇　２：日大理工・教員・航宇

３．実験結果および考察

Figure 1 に摩耗試験片の比摩耗量と強化材の体積含有量の関係を示す．これより，両母材ともに純 Ti と比較して複合材の方が耐摩耗性が向上していることが分かった．特に， TiC/Ti は TiB/Ti と比べて耐摩耗性がより改善された．すなわち，TiC/Ti の耐摩耗性は強化材の体積含有量の依存性が大きい．このため，TiC／Ti は体積含有率 25vol.%のとき，比摩耗量はほぼ 0 であった．

Figure 2 に TiC／Ti（GA45）の試験後の 0，15，25vol.%の摺動方向に対して法線方向における摩耗痕の断面曲線を示す．この断面曲線で比較すると，25TiC／Ti の摩耗痕は他の物に比べとても浅いことがわかった．また，25TiC／Ti（GA45）では，ボールの未接触表面より僅かに盛り上がっている部分が存在していた. これは摩耗粉が押し固まって出来た付着物と考えられる. ここで，Figure 3 にデジタルマイクロスコープによる TiC の体積含有率が 15 および 25vol.%における TiC／Ti（GA45）の摩耗面観察結果を示す．TiB/Ti を含めた 25TiC／Ti（GA45）以外の摩耗面では Figure 3（a）の 15TiC／Ti（GA45）に類似していた．すなわち，Figure 3 (a)のように摺動方向への多数の微細な溝が発生していた. これは，ボールの摺動によって付着物が摩耗面上で移動によって形成すると考えられる．そのため，付着物の移動による溝が少ないほど耐摩耗性が高い傾向にあった．ここで，25TiC/Ti（GA45）の表面には他の試験片の摩耗面と比較して非常に多くの付着物が認められた．Figure 3 (b) の黒い部分などはすべて付着物である．そして，25TiC／Ti（GA45）の摩耗面には, ほとんど微細な溝がほとんどみられなかった. よって，25TiC／Ti（GA45）は付着物が摩耗面に多く付きボールと摩耗面の直接接触を防ぐことと，付着物がボールによる移動することによる摩耗が起こりにくいために耐摩耗性が高いと考えられる．

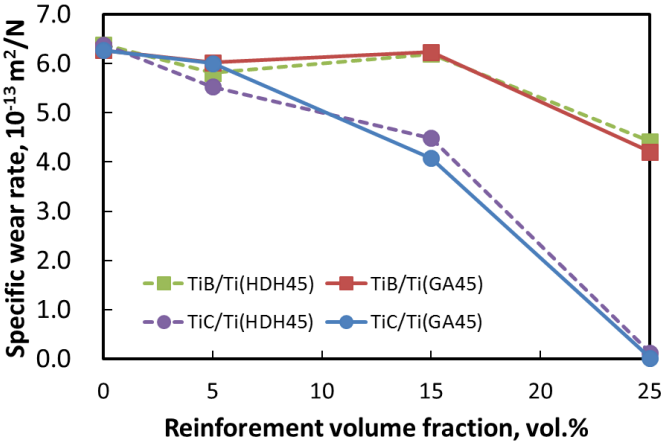


Fig. 1 Specific wear rate as a function of and reinforcement volume fraction

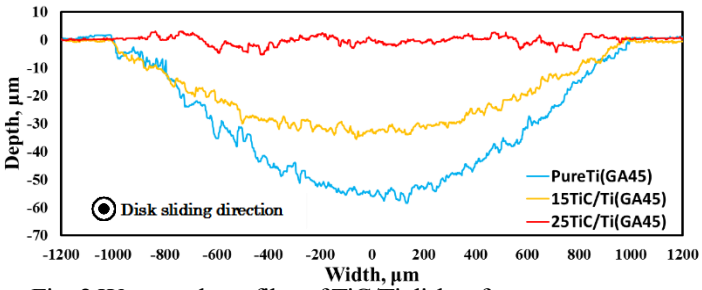
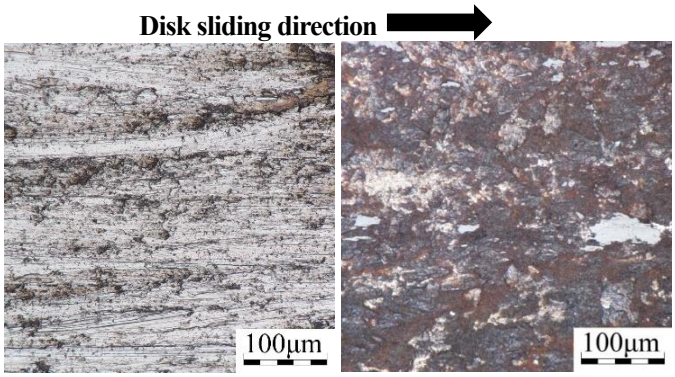


Fig. 2 Wear track profiles of TiC/Ti disks after wear tests



(a) 15vol.%TiC　　(b) 25vol.%TiC

Fig. 3 Surfaces of wear track of TiC／Ti(GA45)

４．結言

両母材とも TiB／Ti に比べて TiC／Ti は良好な耐摩耗性を示した．TiC／Ti の場合，15vol.% TiC で耐摩耗性の改善が認められる．しかし，TiB／Ti では 15vol.%で耐摩耗性の向上はあまりみられなかった．そして，最も耐摩耗性が優れたものは 25TiC／Ti（GA45）であった．

５．参考文献

[1]平　博仁：「航空機用軽金属材料の動向と課題」，軽金属，Vol.65，No.9，pp.426-431，2015

[2] 稲垣　育宏，武智　勉，白井　善久，有安　望：「航空機用 Ti の適用状況と今後の課題」，新日鐵住金技報，Vol.396，pp.23-28，2013.

[3]亀川将司:「Ti 基複合材の引張および摩耗特性に及ぼす母材粉末および強化材の影響」,平成 27 年度日本大学大学院修士論文