

TiC/Ti-6Al-4V における無潤滑すべり摩耗挙動

Dry sliding wear behavior of TiC/Ti-6Al-4V composite

○戸田和博¹, ミアン ヤタコ ビラル ジャヴェド², 小宮良樹³, 出井裕³*Kazuhiro Toen¹, Bilal Javed Mian Yataco², Yoshiaki Komiya³, Hiroshi Izui³

Abstract: In this study, wear behavior of Ti alloy matrix composites were investigated. The composites were sintered by spark plasma sintering (SPS) method using Ti-6Al-4V as a matrix, and TiC as reinforcement. As a result, the wear resistance of Ti-6Al-4V was improved by adding TiC. However, it was found that in spite of Ti-6Al-4V which has excellent mechanical properties, the wear resistance of the Ti-6Al-4V matrix composite was less than that of Ti matrix composite.

1. 諸言

チタンやチタン合金は高い比強度や耐食性を有しているため、構造材料に適した性質を持った材料である。特にチタンは軽量化が必要である航空分野での CFRP の需要増加に伴い、従来の材料よりも相性が良いため需要が高まっている^{[1][2]}。その一方で、耐摩耗性に劣ることや材料費・加工費が高価であることが欠点として挙げられる^[3]。これらの欠点の改善法として、「粉末冶金法」を用いてチタンを「複合材化」する方法がある。理由として、「粉末冶金法」は完成品に近い形状を作製することができるため、材料費・加工費の削減することが可能である。次に、一般的にチタンに硬質なセラミックを添加し「複合材化」することで耐摩耗性の改善が望めるとされているため、これらを利用してチタンの欠点の改善を図った。

これまでの研究において、純チタンと強化材である TiB や TiC を複合材化することで耐摩耗性が向上し、特に複合材内での強化材の形状が大きく摩耗現象に影響を及ぼしていることが明らかになっている。そこで本研究では、純チタンよりも機械的特性に優れチタン合金の中で最も広く使われている Ti-6Al-4V 合金を母材とした際の耐摩耗特性を調査した。複合材の作製には粉末冶金法の一種である放電プラズマ焼結法(Spark Plasma Sintering:SPS)を用いて、前年の研究において最も耐摩耗性が改善した TiC を強化材とした。

2. 実験方法および摩耗試験方法

2.1 供試材料

母材には Ti-6Al-4V 合金のガスアトマイズ粉末 TILOP64-45 (株)大阪チタニウムテクノロジーズ製)で、粉末の粒径が 45 μ m 以下である。また、強化材としては TiC (日本新金属(株)製)を使用した。これらの粉末を強化材の体積含有量(Vf)が 5, 15, 25vol.%となる配合で、遊星ボールミル(フリッチュ・ジャパン(株), P-6)

により、回転数 200rpm で 10min にて混合した。

2.2 複合材の作製条件

高強度グラファイト焼結型に混合粉末を充填し SPS (SPS-3.20MK-IV, 旧住友炭素(株)製)を用いて焼結した。作製条件は昇温速度 20°C/min, 焼結温度 900°C, 焼結時間 10min, 加圧力 70MPa, 焼結雰囲気 10Pa 以下の真空とし、冷却方法は炉冷とする。試験片寸法は 35×4t で作製した。そして、すべての試験片はエメリー研磨紙を用いて #1500 まで研磨した。

2.3 摩耗試験方法

摩耗試験は摩擦摩耗試験機 (株)エー・アンド・ディ製, MODEL EFM-3F-ADX) を用い、形式は大気中・無潤滑・すべり摩耗・3 ボールオンディスクで、試験条件は荷重 23N, 滑り距離 500m, 滑り速度 100mm/sec で行った。また、試験片を摩耗させる相手材は直径 10mm の SUJ2(高炭素クロム軸受鋼材)である。

2.4 耐摩耗性の評価方法

摩耗量の評価は試験片の試験前後での質量変化から算出する比摩耗量で行った。この比摩耗量とは、単位滑り距離単位荷重当たりの質量損失を示した値であり値が低いほどに摩耗量が少ないことを示す。

3. 実験結果および考察

Fig. 1 にビッカース硬さと強化材の体積含有量の関係を示す。これ以降、Ti-6Al-4V 合金を Ti64 と表記する。また複合材の表記は[強化材]/[母材]と表記し体積含有量を示す場合は先頭に示す。

TiC の添加量増加に伴い、両複合材のビッカース硬さは増加した。また TiC/Ti64 が TiC/Ti より高いビッカース硬さを示している。この硬さ差はマトリックスの硬さに起因している。

次に、Fig. 2 に比摩耗量と強化材の Vf の関係を示す。まず、TiC/Ti64 では、5vol.%で Ti64 合金よりも比摩耗量が増加した。15vol.%を超えると比摩耗量は減少し、

1 : 日大理工・院 (前)・航宇, 2 : 日大理工・学部・航宇, 3 : 日大理工・教員・航宇

TiC/Ti とほぼ同程度の比摩耗量を示した。TiC/Ti64 の硬さは Vf にほぼ比例して増加する。5vol.% では高いビッカース硬さを示すが、この時の比摩耗量は増加している。また、15 および 25vol.% の TiC/Ti64 でも、TiC/Ti よりもビッカース硬さが高いにもかかわらず、比摩耗量は、TiC/Ti64 が多い傾向がある。これらの結果より、今回の複合材の耐摩耗性は複合材のビッカース硬さに直接的に依存していないと考えられる。

5 および 15vol.% の摩耗痕断面の SEM 像を Fig. 3 に示す。Fig. 3(a) では摩耗痕近傍にある TiC クラスタが細かく砕かれている様子が確認できる。Fig. 3(b) は粉碎された TiC が摩耗面から脱落している。これによって TiC クラスタの欠損箇所が凹部になり、Ti64 が摩耗面に露出し相手材と摩耗するため、5vol.% は Ti64 合金よりも比摩耗量が上昇したと考えられる。また、5vol.% で TiC クラスタが砕けている理由は、TiC の添加量が少ないと TiC クラスタが小さく、Ti よりも Ti64 合金の強度が高く破壊されにくいいため、TiC クラスタに応力集中するためと考えられる。その一方で、Fig. 3(c) は 15vol.% の摩耗痕断面では、5vol.% のように TiC クラスタが細かく砕かれ脱落している部分がほとんど認められない。これは、15 および 25 vol.% においては、クラスタが大きくなっていることが原因であると考えられる。そのため、15vol.% 以上の場合では TiC クラスタの破壊の影響を受けにくく、TiC の優れた摩耗特性の影響を受け、比摩耗量が TiC/Ti と近づいていったと考えられる。

4. 結言

・ビッカース硬さは TiC/Ti64 が高いが、比摩耗量は TiC/Ti の方が低い値を取る。

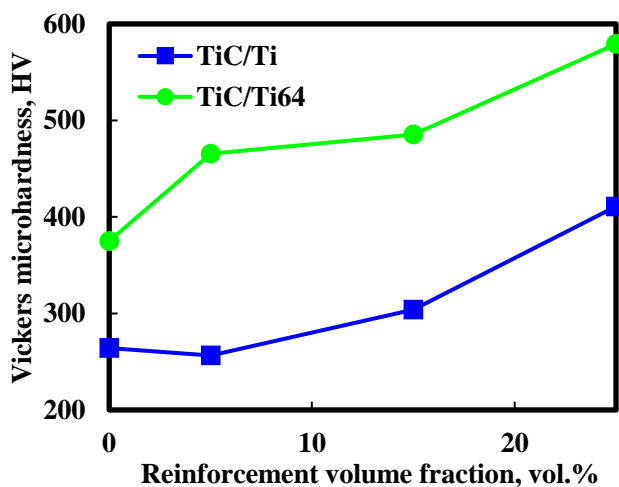


Fig. 1 Vickers microhardness as a function of reinforcement volume fraction

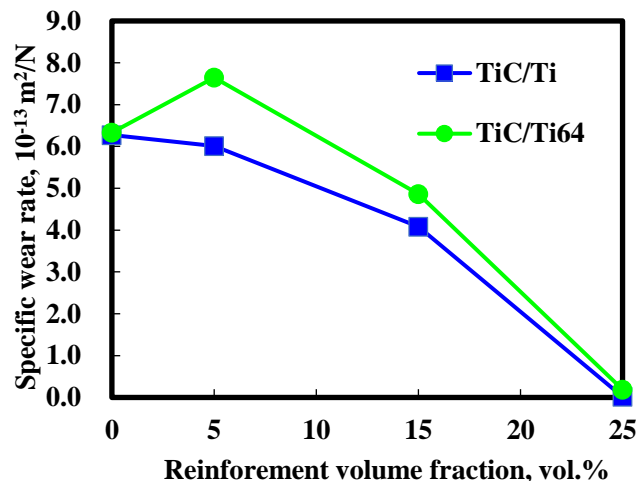


Fig. 2 Specific wear rate as a function of reinforcement volume fraction

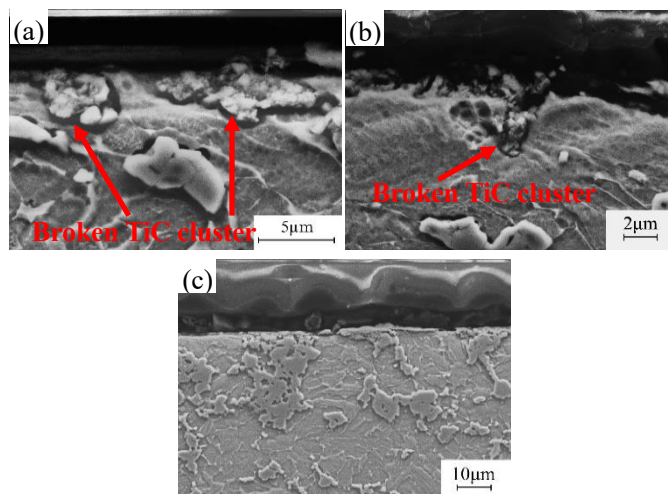


Fig. 3 Cross section of wear track of TiC/Ti64 with 5 and 15 vol.% TiC

- ・TiC/Ti64 の摩耗挙動は摩耗痕近傍の TiC クラスタの破壊の有無に大きな影響を受け、15vol.% 以上ではその破壊が阻害され TiC/Ti と同程度まで比摩耗量が減少する。
- ・TiC/Ti64 の耐摩耗性は複合材のビッカース硬さに直接的に依存していない。

5. 参考文献

[1]平博仁：「航空機用軽金属の動向と課題」, 軽金属, vol.65, No.9, pp426-431, 2015
 [2]伊原木幹成：「航空機の発展とその構造材料の変遷(4回)」, Journal of the Japan Society for Abrasive Technology, vol.60, No.7, pp399-400, 2016
 [3]古田忠彦, 斎藤卓, 山口登士也：「チタン基複合材製排気エンジンバルブの開発」, 豊田研究所 R&D レビュー, vol.36, No.1, pp51-55, 2003