

K6-24

純 Ti と Ti-6Al-4V 合金に SiC 粉末を添加焼結したチタン基複合材の機械的性質 Mechanical Properties of Pure Ti and Ti-6Al-4V Alloy Matrix Composites Containing SiC Powder

○渡邊光彦¹, 大島知子², 橋本賢史朗², 小宮良樹³, 出井裕³*Mitsuhiko Watanabe¹, Tomoko Oosima², Kenshirou Hasimoto², Yoshiki Komiya³, Hiroshi Izui³

Pure Ti and Ti-6Al-4V show high strength and good corrosion resistance. However, they have the disadvantage of poor wear resistance. It is reported that adding ceramics leads to improve the wear resistance of Ti and its alloy. The purpose of this study is to make Ti matrix composite with both high tensile strength and good wear resistance. SiC reinforced Ti matrix composites (SiC/Ti and SiC/Ti-6Al-4V) were prepared by spark plasma sintering (SPS) process. The tensile strengths of SiC/Ti and SiC/Ti-6Al-4V composites showed 847MPa at 5 vol.% SiC and 1128MPa at 1.7 vol.% SiC, respectively. Vickers microhardness of SiC/Ti and SiC/Ti-6Al-4V composites increased with increasing SiC volume fraction.

1. 緒言

近年、航空業界において、運用する航空機のコストを抑えるために、燃費の向上の必要性が挙げられている。またメンテナンスコスト低減も、運用コストの削減に必要である。結果として、より高比強度の材料を用いて強度を保ちつつ、部材の軽量化を行うことで、機体を軽量化すべく炭素繊維強化複合材(CFRP)の機体構成材に占める割合が増加している^[1]。さらに、高強度、高耐食性、高信頼性の材料を使用することがメンテナンスコスト削減には有用である。そして、チタン合金はCFRPと熱膨張係数の差や電位差が小さく、相性がよい。さらに、強度が高く、耐腐食性も良好で軽量である^[2]。しかし、純チタン(以下純Ti)には耐摩耗性に劣る問題が有る。さらに、チタン合金は高強度と焼き付きのために加工が困難であるという問題も存在する。この問題解決には、チタン合金にセラミックスを添加し耐摩耗性を向上させること、さらに放電プラズマ焼結 (SPS) を用いたニアネットシェーピングを用いることで、加工の手間を低減すること有効であると考えた。そして、チタン合金にセラミックスを添加した材料を作製することで耐摩耗性が向上すると同時に、TiB や TiC を添加することによって、耐摩耗性以外にも機械的特性が向上することが確認されている。チタン合金に添加するセラミックスとして他にも SiC 等が存在する。本研究では、複合材の母材として純チタンと Ti-6Al-4V 合金、添加材として SiC を選び、複合材の機械的特性を明らかにした。

2. 実験方法

2. 1. 供試材料

本研究では、大阪チタニウムテクノロジーズ製の純

Ti ガスアトマイズ (GA) 45 μm 粉末および Ti-6Al-4V 合金ガスアトマイズ粉末 45 μm , 高純度化学製の SiC 粉末 2~3 μm を使用した。

2. 2. 複合材の作製法

遊星ボールミルを用いて、マトリックスと強化材粉末を混合し、高強度グラファイト製のダイ・パンチに混合粉末を充填し、SPS を用いて焼結した。焼結条件は昇温速度 20°C/min, 焼結温度 900°C, 焼結時間 10min, 焼結圧力 70MPa, 焼結中の真空度は 5Pa 以下であった。

2. 3. 各種試験方法

試験片を鏡面研磨し、エッチングを行った後、走査型電子顕微鏡を用いてマイクロ組織を観察した。さらに、走査型電子顕微鏡のエネルギー分散型 X 線分析装置を用いて試験片の元素マッピングと線分析を行った。加えて、粉末・薄膜・微小部 X 線回折装置を用いて試験片の生成物の分析を行った。ビッカース硬さ試験機を用いて、硬さを測定した。研磨紙の 400 番まで研磨し、モニターを用いて、引張試験片形状に切削し、研磨後に万能試験機を用いて引張速度 0.5mm/min の条件で引張試験を行った。

3. 実験結果および考察

実験結果と考察を以下に示す。純 Ti と Ti-6Al-4V 合金に対する SiC の体積含有率 (以下 Vf) が 1.7vol.%, 10vol.% の各試験片表面を走査型電子顕微鏡 (以下 SEM) における反射電子で撮影した画像を以下の Fig. 1 に示す。強化材の体積含有率に対するマイクロビッカース硬さの値を Fig. 2 に示す。加えて、SiC の Vf に対する引張強さの変化を Fig. 3 に示す。

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

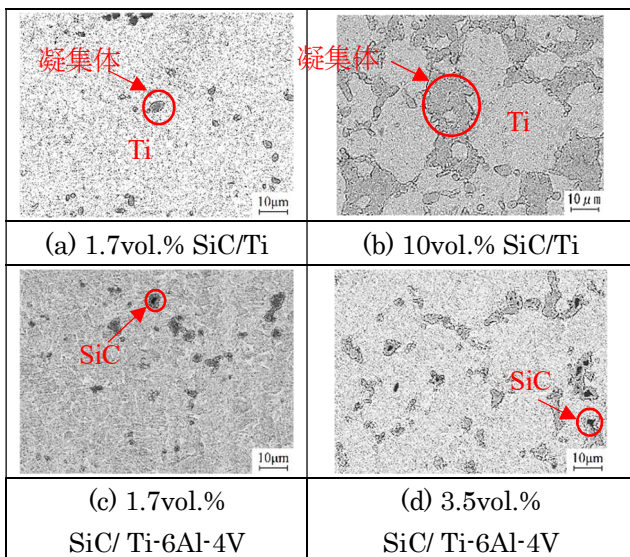


Fig. 1 SEM images of SiC/Ti and SiC/Ti-6Al-4V composites

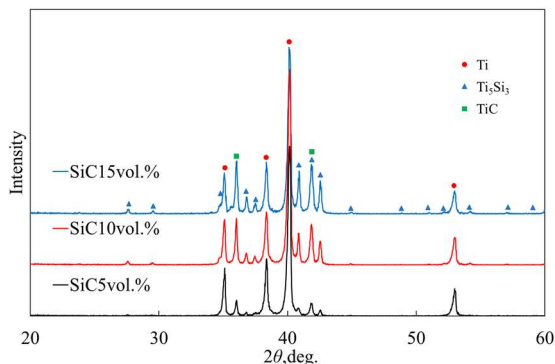


Fig.2 X-ray diffraction patterns ogram of SiC/Ti composite

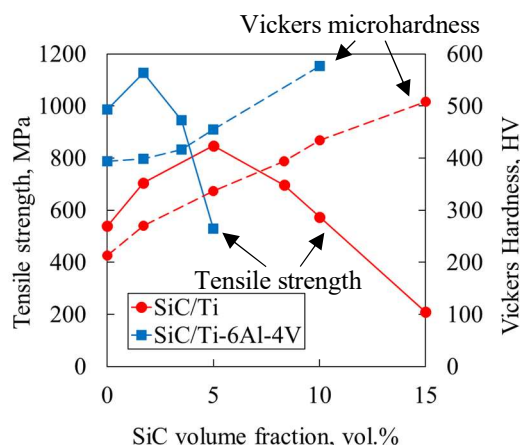


Fig.3 Relationship between Tensile strength, vickers microhardness and ceramics volume fraction in SiC

Fig. 1において、黒い部分はSiCである。そして、最も薄く、灰色の部分が純Tiであり、2つの中間の濃さの部分がチタンとSiCが反応してできたTiC及びTi₅Si₃化合物の凝集体である。またSiCのVfが増える

にしたがって凝集体の割合が増えている。Fig. 2においてチタンとTi₅Si₃及びTiCのピークが確認できる。そして、Fig. 1の(c), (d)を見ると未反応のSiCが存在する。これは、Ti-6Al-4VはAlとVが存在する分、純Tiよりも反応の進みが遅いためだと考えられる。

Fig. 3よりSiCのVfが増える程、硬さが上がっている事が分かる。Fig. 1の(a)と(b), (c)と(d)の様に、硬い生成物Ti₅Si₃+TiCが増えるためである。また、SiC/Ti-6Al-4V(以下SiC/Ti64)はSiC/Tiと比較し、硬さの上昇が急である。これは、Fig. 1の(c)と(d)より硬いSiCが反応せずに残っているためと考えられる。また、Fig. 3より引張強さは、SiC/TiではSiCのVfが5vol.%で最大値となり、SiC/Ti64ではSiCのVfが1.7vol.%で最大値を示している。最大値までは硬い生成物が引張強さを向上させる。そして、最大値を過ぎた後はFig. 1の(b)の様に、脆性な生成物の面積が大きくなり、その部分で破断するためSiCのVfが増える程、引張強さの値が小さくなる。また、母材の違いによるピークの位置と最大値後の低下の大きさの差がある。そして、クラックは両複合材とも生成物の凝集体で生じている。SiC/Ti64の母材Ti-6Al-4V合金は純Tiと比べ引張時に伸びないため、高い応力が加わり、脆性の生成物へ応力集中が起きることによって破壊され、引張応力最大時のSiCのVfがSiC/Tiより低くなる。応力集中で、クラックは生成物から生じる。さらに、SiC/Ti64は、Fig. 1の(c)と(d)の様な未反応部分に空隙が存在し、その割合がSiCのVfが増える程大きくなるためSiC/Tiに比べ大きく低下すると考えられる。

4. 結論

SiC/Tiと、SiC/Ti64は共に純Ti及びTi-6Al-4V合金と比較し、SiC添加による硬さと引張強さの向上が確認された。引張強さは、SiCが5vol.%のSiC/Tiで847MPa、SiCが1.7vol.%のSiC/Ti64で1128MPaとなった。耐摩耗性の向上を考えると高体積含有率で引張強さも高いSiC/Tiが好ましい。

5. 参考文献

[1] (公財) 航空機国際共同開発促進基金:複合材の航空機適用への課題と国際競争力強化. At http://www.iadf.or.jp/8361/LIBRARY/MEDIA/H23_dokojyo/23-2.pdf
 [2] 稲垣育宏, 武智勉, 白井善久, 有安望:航空機用チタンの適用状況と今後の課題. 新日鉄住金技報, Vol.396 (2013)pp.23-28