

## K6-3

# 機械的特性に及ぼす TiB 強化 Ti-6Al-4V 合金の マトリックス粉末の粒径と形状の影響

## Mechanical Properties of TiB-Reinforced Ti-6Al-4V Using Matrix Powders with Different Particle Size and Different Morphologies

○三瓶祐子<sup>1</sup>, 酒井悠太<sup>2</sup>, 渡邊光彦<sup>2</sup>, 小宮良樹<sup>3</sup>, 出井裕<sup>3</sup>\*Yuko Sampei<sup>1</sup>, Yuta Sakai<sup>2</sup>, Watanabe Mitsuhiro<sup>2</sup>, Yoshiki Komiya<sup>3</sup>, Hiroshi Izui<sup>3</sup>

Abstract: It has been reported that the mechanical properties of titanium matrix composites depended on titanium particle shape and size. In this study, three types of Ti-6Al-4V matrix powders were used: hydride-dehydride (HDH) powders with particle sizes of <45  $\mu\text{m}$  and <25  $\mu\text{m}$  and gas-atomized (GA) powder with a particle diameter of 45  $\mu\text{m}$ . TiB<sub>2</sub> powder with an average particle size of 1.81  $\mu\text{m}$  was used as a reinforcement. TiB-reinforced Ti-6Al-4V alloys were prepared by SPS. Mechanical properties of composites composed of powders with different particle shape and sizes were investigated. As a result, the mechanical properties of the alloys depend on the particle size and the particle morphology.

### 1. 諸言

航空宇宙分野を含む様々な分野で軽量かつ高強度、高剛性を有する材料が必要になる。従来の航空機の構造部材には軽量なアルミニウム合金が使われてきたが、近年使用が拡大している炭素繊維強化プラスチック (CFRP) とは相性が悪い。一方、チタン合金は CFRP とは相性がよく、軽量化かつ、高強度、耐食性に優れるといった点を持ち、航空機の構造部材として適している。例えば、数あるチタン合金のなかで最も使用量が多い Ti-6Al-4V 合金は、強度、延性、疲労強度、高温強度などの特性がバランスよく備わっている<sup>[1]</sup>。しかしながら、チタンには耐摩耗性に劣るといった欠点もある。そこで、チタンに強化材である TiB を添加することで耐摩耗性が改善されたと報告がある<sup>[2]</sup>。

本研究では複合材製造法として粉末冶金法の一つである放電プラズマ焼結 (Spark Plasma Sintering: SPS) を採用した。この方法は従来の焼結法に比べ、低温かつ短時間で焼結できるという利点がある。過去の研究結果より、純 Ti のガスアトマイズ粉末と HDH 粉末に TiB を生成させたところ、HDH 粉末がガスアトマイズ粉末より TiB の含有率が高いところで最大引張値強さを示した。そこで、過去の研究結果から Ti-6Al-4V 合金粉末においても HDH 粉末がガスアトマイズ粉末より TiB の含有率が高いところで最大引張値強さを示すと考え、Ti-6Al-4V 粉末の HDH 粉末に TiB<sub>2</sub> 粉末を添加し TiB を生成させ機械的特性を調査した。さらに HDH 粉末の粒径を 25 $\mu\text{m}$  と 45 $\mu\text{m}$  と変化させ、粒径の違いが機械的特性に及ぼす影響も検討した。

### 2. 実験方法

本研究では、母材に大阪チタニウムテクノロジー (株) 製の Ti-6Al-4V 合金のガスアトマイズ (GA) 粉末 (<45 $\mu\text{m}$ )、トーホーテック (株) 製の Ti-6Al-4V 合金の水素化脱水素 (HDH) 粉末 (<25 $\mu\text{m}$ , <45 $\mu\text{m}$ ) を、強化材には日本新金属 (株) 製の TiB<sub>2</sub> 粉末 (1.81 $\mu\text{m}$ ) を使用した。

各母材と強化材を遊星ボールミルを用いて回転数 200rpm で 10min 混合した。次に混合粉末を SPS を用いて焼結した。焼結条件は、焼結温度 1173K、昇温速度 293K/min、保持時間 10min、焼結圧力 70MPa、冷却方法は炉冷とした。焼結体の大きさは、長さ 56mm、幅 11mm、厚さ 2mm とした。

焼結体を製作後、相対密度の測定、硬さ試験、引張試験、最後にミクロ組織の観察を行った。

### 3. 実験結果

図 1 に各 TiB 体積含有率に対する TiB/Ti-6Al-4V 複合材の相対密度を示し、図 2 に TiB/Ti-6Al-4V 複合材のミクロ組織を示す。図 1 より、すべての TiB/Ti-6Al-4V 複合材において相対密度は 99% 以上の値を示し、緻密に焼結されたと確認できる。しかしながら、HDH 粉末と GA 粉末を比較すると、全ての TiB 体積含有率において HDH 粉末の方が GA 粉末より高い値を示した。これは図 2 より 1.7TiB/Ti-6Al-4V (HDH 45 $\mu\text{m}$ ) 複合材には空孔が確認できなかったのに対し、1.7TiB/Ti-6Al-4V (GA 45 $\mu\text{m}$ ) 複合材には空孔が確認できる。また、他の TiB 含有率に対しても同様に GA 粉末には空孔があり、HDH 粉末には空孔があまり確認できなかった。これは

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

粉末の形状の影響, HDH 粉末は角ばった形状をしているため, 球状の GA 粉末に比べると母材粉末間の隙間が小さくなり, 相対密度は GA 粉末より HDH 粉末の方が高かったと思われる.

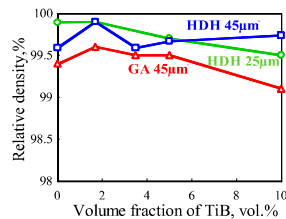
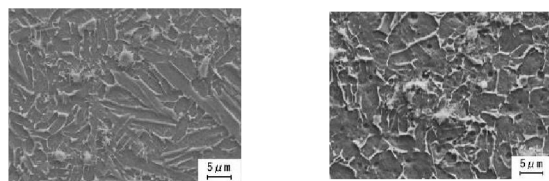


Figure 1. Relative density of the composites



(a) 1.7TiB/Ti-6Al-4V (HDH 45 μm) (b) 1.7TiB/Ti-6Al-4V (GA 45 μm)

Figure 2. SEM micrographs of composites

図 3, 4 に各 TiB の体積含有率に対する TiB/Ti-6Al-4V 複合材の引張強さ, ビッカース硬さを, 図 5 に TiB/Ti-6Al-4V 複合材のミクロ組織を示す. 図 3 より, 粒径の違いに着目すると, HDH(25μm)の方が HDH(45μm)に比べ引張強さが高くなった. また, GA 粉末と HDH 粉末において最大引張強さのピークが異なっていたが, これは HDH 粉末の酸素濃度が GA 粉末に比べて高く, 伸び率に違いがあるためであると考えられる. GA 粉末は酸素濃度が低く柔らかいため変形しやすいが HDH 粉末は変形しにくい. そのため, HDH 粉末は TiB の含有率が増えると TiB に応力集中が起こり早く破断してしまうと考えられる. また, 図 4 より, 1.7TiB/Ti-6Al-4V(HDH 45μm)複合材と 1.7TiB/Ti-6Al-4V(GA 45μm)複合材でビッカース硬さは TiB の含有率が高くなるにつれて, 増加しているのがわかる. 図 5 より TiB の含有率が増加するとともに TiB クラスタが多く生成されているのがわかる. TiB の硬さの値は 2700HV と Ti-6Al-4V 合金よりも硬いため, TiB クラスタの個数が増加することで, 硬さの値は高くなったと考えられる<sup>[9]</sup>. 粉末の形状で比較すると, HDH 粉末の方が GA 粉末より硬くなった. 先行研究より酸素濃度が多いほど硬さが硬くなるという傾向が明らかになっている<sup>[3]</sup>. ここで GA(45μm)と HDH(45μm)の酸素濃度はそれぞれ 0.16%, 0.38%となっており, HDH(45μm)は GA(45μm)の約 2 倍の酸素を含んでいる. このこと

により, HDH 粉末の方が GA 粉末より硬さが硬くなったと思われる.

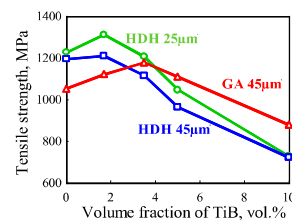


Figure 3. Tensile strength of the composite

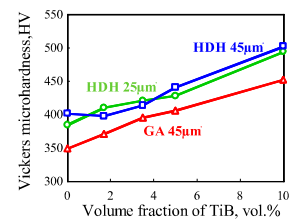
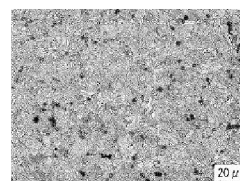


Figure 4. Vickers microhardness of the composites



(a) 1.7TiB/Ti-6Al-4V (HDH 25 μm) (b) 10TiB/Ti-6Al-4V (HDH 25 μm)

Figure 5. SEM micrographs of composites

#### 4. 結言

- [1] HDH(45μm)と GA(45μm)は GA 粉末の方が空孔ができやすいことがわかった.
- [2] GA 粉末の方が TiB の含有率が高いところで引張強さを示した.
- [3] HDH(25μm)と HDH(45μm)では, TiB の分散状況は HDH(25μm)の方がよく, 小さいクラスタができやすいことが分かった.
- [4] HDH(25μm)と HDH(45μm)は TiB の含有率が 1.7vol.%でそれぞれ最大引張強さ 1311MPa, 1209MPaを示し, GA(45μm)は TiB の含有率が 3.5vol.%で最大引張強さ 1178MPaを示した.

#### 5. 参考文献

- [1] 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, pp.23-28, 2013
- [2] 吉田忠彦, 斎藤卓, 山口登士也:「チタン基複合材料製排気エンジンバルブの開発」, 豊田中央研究所 R&D レビュー, Vol.36, No.1, pp.51-56, 2001
- [3] 孫斌, 李樹豊, 今井久志, 三本嵩哲, 梅田純子, 近藤勝義:「酸素固溶強化による高強度チタン粉末焼結材の創製」, スマートプロセス学会誌, Vol.1.6, No.6, pp.283-287, 201