

## K6-8

## 放電プラズマ焼結法で作製した炭化物強化チタンの機械的特性

### Mechanical Properties of Carbide Particulates Mixture Reinforced Titanium Composites Prepared by Spark Plasma Sintering

○橋本 昂<sup>1</sup>, 石井聖樹<sup>2</sup>, 出井裕<sup>3</sup>, 小宮良樹<sup>3</sup>\*Noboru Hasimoto<sup>1</sup>, Masaki Ishii<sup>2</sup>, Hiroshi Izui<sup>3</sup>, Yoshiki Komiya<sup>3</sup>

チタン合金は高比強度で、疲労強度や耐食性に優れているが、耐摩耗性が劣るという欠点を持つ。そのため、今日では幅広く耐摩耗性の改善をテーマとしたチタン合金材料が研究されている<sup>[1]</sup>が、特にこの耐摩耗性改善には炭化物である TiC 粒子が有効であることが知られている。これまでの研究で TiC 粒子の直接添加では添加量の増加とともに TiC 粒子が凝集し未焼結となるため、強度低下と TiC 粒子の脱落が磨耗粉発生の要因となることが判明していた<sup>[2]</sup>。そこで、我々は炭化物を純 Ti に添加し、TiC 粒子を自己生成させることで機械的特性と耐摩耗性を改善できるのではないかと考え、耐摩耗性を改善する TiC 粒子の発生とチタン複合材の機械的特性の改善を確認した。

#### 1. 緒言

本研究では、 $\beta$ Ti 相に TiC 粒子が微細分散した組織となる場合、耐摩耗性が著しく改善されるとの報告を踏まえて、Ti 母材に  $\beta$  安定化元素を含む炭化物を添加し、焼結中に TiC 粒子を生成し、合金を強化する方法を検討した。TiC 粒子の生成を明確にするために、母材にはガスアトマイズ純 Ti を使用し、各種炭化物を添加させた TiC 強化チタンを放電プラズマ焼結によって作製し、そのマイクロ組織観察と焼結性及び各種機械的特性の比較を行った。

#### 2. 実験方法

母材粉末は純 Ti の TILOP-45 素粉末で粒径は  $45\mu\text{m}$  以下である。TiC 析出源となる添加材は炭化物粉末 TiC(平均粒径  $1.80\mu\text{m}$ )、VC(平均粒径  $1.76\mu\text{m}$ )、ZrC(平均粒径  $2.45\mu\text{m}$ )、 $\text{Mo}_2\text{C}$ (平均粒径  $1.94\mu\text{m}$ )、NbC(平均粒径  $1.10\mu\text{m}$ )を用い、遊星ボールミル (200rpm) により Ar 雰囲気中で 10min 間混合攪拌した。混合粉末は高強度グラファイト製のダイに充填し、ハンドプレスでパンチ上下から 20 MPa の予備圧力を負荷した。得られた混合粉は SPS 装置を用い焼結を行った。焼結条件は、昇温速度  $100\text{K}/\text{min}$ 、加圧力 70MPa、焼結温度 1173K、保持時間 10min である。SPS により作製した試料は画像分析を用いて空孔率を測定し、SEM にて組織観察を行った。次に複合材のマイクロビッカース硬さ試験、引張試験による引張強さ及び歪の測定を行って機械的特性を調べた。また、EDX による面分析、粒子解析ソフトによる TiC 粒子の平均粒径測定を行った。なお、TiC 体積含有率は Ti と炭化物が完全に反応するものと仮定して設定している。

#### 3. 実験結果および考察

Fig.1 に TiC 体積含有率と各種炭化物強化チタンの空孔率との関係を示す。全ての炭化物強化チタンにおいて、TiC 体積含有率が増加すると共に炭化物強化チタンの空孔率も上昇している。また、TiC 直接添加の複合材に比べ、TiC 自己生成反応によって作製された複合材は空孔率が低い。特に、 $\text{Mo}_2\text{C}$  添加の TiC 体積含有率 3vol.% において、空孔率は 0.0274% の最も小さい値を示した。TiC 添加の場合、粒子同士が互いに接合して大きな粒子塊になっていることがわかる。

この塊付近に大きなボイドが多数見受けられたことが TiC 直接添加の複合材において空孔率が高い値を示す原因となり、さらに TiC 粒子の脱落という現象に繋がったと考えられる。粒子解析ソフトを用いた TiC の平均粒径測定結果は TiC :  $6.56\mu\text{m}$ 、ZrC :  $3.59\mu\text{m}$ 、VC :  $2.97\mu\text{m}$ 、NbC :  $3.21\mu\text{m}$ 、 $\text{Mo}_2\text{C}$  :  $3.54\mu\text{m}$  であった。TiC 直接添加の場合、粒径  $20\mu\text{m}$  を超える粒子も観察された一方で、他の炭化物添加の場合に発生する TiC 粒子は粒径が小さい傾向が観察された。

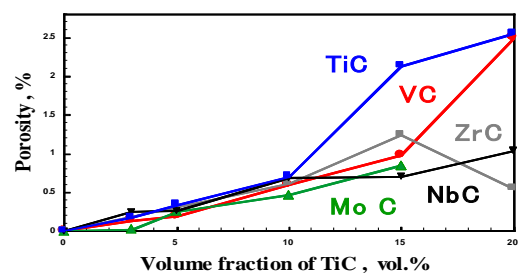


Fig.1 Volume fraction of TiC vs. porosities in the composites

Fig.2 に EDX による各複合材の面分析結果を示す。VC, Mo<sub>2</sub>C 添加の場合, β 安定化元素が存在していない部分に Ti 及び C の存在が確認できることから, 黒い粒子は TiC であると考えられる。中でも VC 添加の場合は Ti と β 安定化元素である V が一様に分布しており, V の偏在は認められない。同様に EDX の結果から ZrC, NbC 添加の場合も TiC の発生が確認された。

Fig.3 に TiC 体積含有率と引張強さ, 伸び, ビッカース硬度との関係を示す。Mo<sub>2</sub>C 添加の場合, TiC3vol.%において引張強さやビッカース硬さは他の炭化物強化 Ti に比べて著しい上昇を示し, その結果, 伸びの低下も著しいことが分かる。これは空孔率のグラフからも分かるように, 空孔率が著しく低い値を示したためである

と考えられる。この場合の機械的特性は, 引張強さ 1012MPa, 伸び 4.95%, ビッカース硬さ 406HV であった。伸びが低いのは β 安定化元素である Mo が拡散せず偏在しているためと考えられる。その後 Mo<sub>2</sub>C 添加量が増加するにつれて TiC 粒子が凝集すると共に, 未反応の Mo<sub>2</sub>C 粒子が増加するため, 急激な引張強さ及び伸びの減少が生じるのだと考えられる。また, VC を添加した TiC 体積含有率 15vol.%の複合材において, 引張強さは最も高い値を示した。これは TiC15vol.%でも凝集部分が確認できず, TiC 粒子の平均粒径が 2.97µm と他に比べて最も小さい値であり, 粒子が互いに接合せず大きな塊にもならず, Ti と V が偏在せずに全体が合金化していることに起因していると考えられる。この時, 引張強さ 1063MPa, 伸び 2.6%, ビッカース硬さ 374HV を示した。ZrC 添加の複合材において, 高い TiC 体積含有率で高硬度になる原因は, TiC 粒子と未反応の ZrC 粒子が網目のように分布するためと考えられる。

5. 結言

本研究の結果を要約すると, 次のようになる。

- (1) 純チタンに ZrC, VC, NbC, Mo<sub>2</sub>C を添加した場合, TiC 自己生成反応によって TiC 粒子が生成する。
- (2) TiC 体積含有率の増加と共に, 多くの複合材の空孔率は上昇する。また, TiC 添加の複合材よりも他の炭化物添加の複合材の方が空孔率は低い値を示す。
- (3) VC 添加 TiC 体積含有率 15vol.%の複合材は 3µm 以下の TiC 粒子が凝集せず広く拡散する。
- (4) VC 添加 TiC 体積含有率 15vol.%の複合材において最も高い引張強さを示し, その値は 1063MPa である。
- (5) Mo<sub>2</sub>C 添加 TiC 体積含有率 3vol.%の複合材において引張強さ 1012MPa, ビッカース硬さ 406HV を示す。

6. 参考文献

[1] 高橋渉, 岡田稔, 志田善明, 中西睦夫, “チタンへの炭化物分散による耐摩耗性改善”, 鐵と鋼/日本鉄鋼協会[編], Vol. 77, No.8 (1991), pp. 124-131

[2] 次世代構造部材創製・加工技術開発(次世代チタン合金構造部材創製・加工技術開発), “平成 22 年度エネルギー使用合理化技術開発等調査報告書”, 財団法人素形材センター, (2010), pp.149-165.

	SBSE	Ti	C	β stable element
15TiC/Ti				
15TiC/Ti-V				
3TiC/Ti-Mo				

Fig.2 The elemental analyses of the composites with 15vol.% TiC by EDX

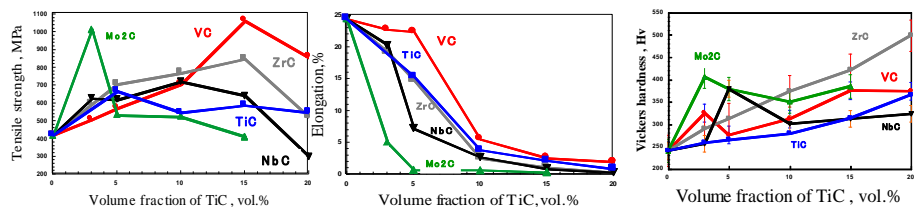


Fig.3 Mechanical properties of the composites