

K6-11

放電プラズマ焼結法による Ti-Mo 合金焼結体の機械的性質に及ぼす Mo 粉末粒子径の影響  
 Effect of Mo powder sizes on mechanical properties of Ti-Mo alloy compacts prepared by spark plasma sintering

○笠井のりか<sup>1</sup>, 阿波根亘<sup>2</sup>, 三瓶祐子<sup>2</sup>, 小宮良樹<sup>3</sup>, 出井裕<sup>3</sup>

\*Norika Kasai<sup>1</sup>, Wataru Ahagon<sup>2</sup>, Yuko Sanpei<sup>2</sup>, Yosiki Komiya<sup>3</sup>, Hiroshi Izui<sup>3</sup>

Ti 合金は材料費・加工費が高価である。そこで、加工コスト削減が見込める素粉末混合法を用いて、放電プラズマ焼結(SPS)法により作製した Ti 合金焼結体における Al, Fe, Mo の添加元素の影響を調査した。そして、β安定化元素である Mo 粉末を 10 wt.% 添加させ、焼結温度 850 °C のとき最大引張強さ 1172 MPa の焼結体を得た。そこで本研究では、Mo 粉末の添加による引張強さの向上を目指すために、それぞれ粒径の異なる 3 種類の Mo 粉末(平均粒径 0.7 μm, 2.89 μm, 6.5 μm)を用いて SPS で Ti-Mo 合金焼結体を作製した。そして、マイクロ組織および力学的特性に及ぼす Mo 粉末粒子径の影響を検討した。その結果、Mo 粉末の粒径を変化させることでより引張強さの高い焼結体を得られた。

1. 緒言

Ti 合金は高強度で耐食性に優れ、CFRP と相性が良いため、航空機産業で重要な役割をもち、需要が拡大している。しかし、Ti 合金は材料費・加工費が高価である。そこで、加工コスト削減が見込める素粉末混合法による Ti 合金焼結体に着目した。素粉末混合法は純 Ti 粉末と添加元素の粉末を一定の割合で混合し焼結する手法であり、製品に近い形状を得ることができる。著者らは、放電プラズマ焼結(SPS)法により作製した Ti 焼結体における添加元素の影響を調査してきた。添加元素に Al, Fe, Mo を用いて 850 °C で焼結した結果、β安定化元素である Mo 粉末を 10 wt.% 添加することで最大引張強さの焼結体を得ることを報告した<sup>[1]</sup>。そこで本研究では、Mo 粉末の添加による引張強さの向上を目指すために、SPS で作製した Ti-Mo 合金焼結体において、マイクロ組織および力学的特性に及ぼす Mo 粉末粒子径の影響を検討した。

2. 実験方法

2.1 供試材料

本研究では、マトリックス金属に平均粒径 29.98 μm の水素化脱水素法純 Ti 粉末を用いた。添加元素粉末にはそれぞれ粒径の異なる 3 種類の Mo 粉末(平均粒径 0.7 μm, 2.89 μm, 6.5 μm)を用いた。各粉末の SEM 像を Fig.1 に示す。

2.2 試験片の作製及び各試験方法

純 Ti と Mo 粉末を遊星ボールミルで 10 分混合した後、高強度グラファイト製のダイに充填し、焼結を行った。焼結条件は焼結温度 973 K, 1073 K, 1123 K, 1173 K, 1273 K, 1373 K, 焼結圧力 70 MPa, 保持時間 10 min, 昇温速度 100 K/min, とし、焼結中の真空度は 10 Pa 以

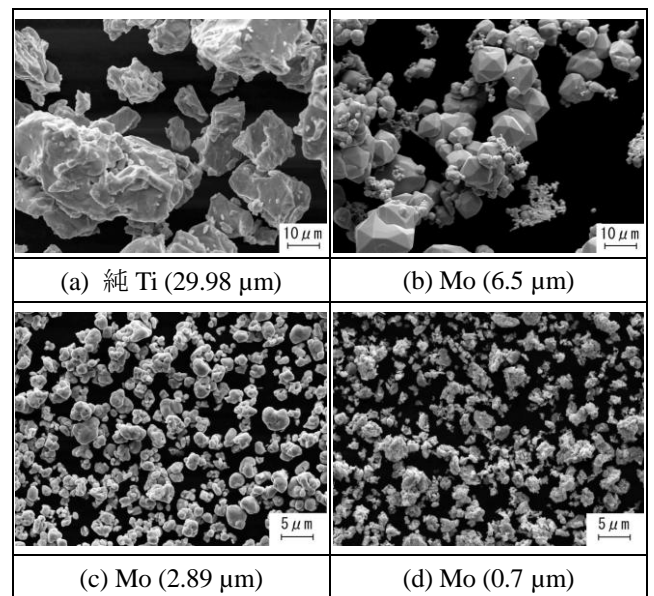


Fig.1 SEM images of various powders.

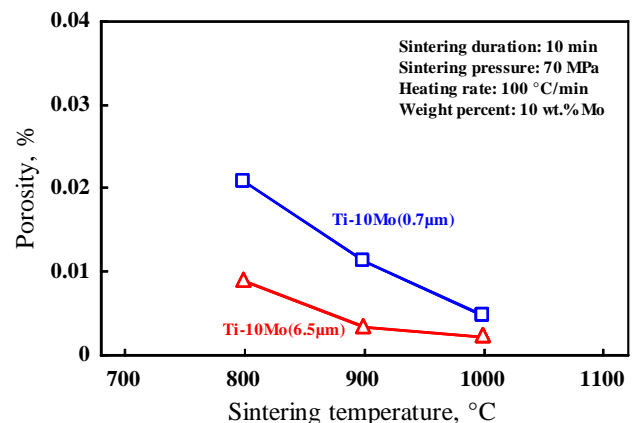


Fig.2 Effect of sintering conditions on porosity of Ti-Mo alloy.

下とした。引張試験は、引張速度 0.5 mm/min, 室温中で行った。また、SEM を用いてマイクロ組織観察した。

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

### 3. 実験及び考察

純 Ti に粒径  $0.7\ \mu\text{m}$  と  $6.5\ \mu\text{m}$  の Mo を 10 wt.% 添加した焼結体の焼結温度に対する空孔率を Fig.2 に示す. すべての焼結体で 0.03 % 以下の空孔率を示した. そして, 粒径  $6.5\ \mu\text{m}$  の Mo が最も低かった. これは粉末の形状と粉末の大きさの違いが関係する. 粉末の形状について, 粉末の表面が粗くなるほど, あるいは粒子形状が不規則になるほど粒子間摩擦が大きくなることで充填密度が低くなる. そして, Fig.3 に粉末を充填したときのモデルを示す. 小さな粒子の集合体から大きな粒子に置換されることにより, 隙間のある領域が真密度の領域に置き換わるためと考えられる<sup>[2]</sup>.

次に純 Ti に平均粒径  $0.7\ \mu\text{m}$  と  $6.5\ \mu\text{m}$  の Mo をそれぞれ 10 wt.% 添加した焼結体の焼結温度に対する引張強さを Fig.4 に示す. 粒径  $0.7\ \mu\text{m}$  では焼結温度  $800\ ^\circ\text{C}$  のとき最大引張強さ  $1292\ \text{MPa}$  を示した. この値は Ti-6Al-4V 溶製材の引張強さ  $960\ \text{MPa}$  に比べ約  $330\ \text{MPa}$  ほど高い値である. 一方, 粒径  $6.5\ \mu\text{m}$  では焼結温度  $1000\ ^\circ\text{C}$  のとき最大引張強さ  $1040\ \text{MPa}$  を示した. このように粒径  $0.7\ \mu\text{m}$  を用いた焼結体は, 粒径  $6.5\ \mu\text{m}$  を用いた焼結体より,  $200\ ^\circ\text{C}$  も低い焼結温度で最大引張強さを得た. これは, 小さな粒子ほど界面が広いため, Mo の拡散が進み比較的低温から Ti の  $\beta$  化が起こるためと考えられる. 粒径  $0.7\ \mu\text{m}$  と  $6.5\ \mu\text{m}$  の Mo 粒子を用いて, それぞれ焼結温度  $800\ ^\circ\text{C}$  と  $1000\ ^\circ\text{C}$  で焼結した Ti-10 wt.% Mo 焼結体の SEM 像を Fig.5 に示す. 粒径  $0.7\ \mu\text{m}$  において, 焼結温度  $800\ ^\circ\text{C}$  では残留した Mo 粒子により旧  $\beta$  粒の粗大化が抑制されている. 一方, 焼結温度  $1000\ ^\circ\text{C}$  では旧  $\beta$  粒の粗大化が確認できた. 粒径  $6.5\ \mu\text{m}$  においては, 焼結温度を  $800\ ^\circ\text{C}$  から  $1000\ ^\circ\text{C}$  まで上昇すると, Mo の拡散が促進され, 縞状の組織が微細になり, そのために引張強さが高くなったと考えられる.

### 4. 結言

- (1) Mo 粉末が球形に近いほど空孔率は低下した.
- (2) 粒径  $0.7\ \mu\text{m}$  の Mo では最大引張強さ  $1292\ \text{MPa}$  を示した. また, 粒径  $6.5\ \mu\text{m}$  の Mo では最大引張強さ  $1040\ \text{MPa}$  を示した.
- (3) 粒径  $0.7\ \mu\text{m}$  の Mo を用いた焼結体は, 粒径  $6.5\ \mu\text{m}$  の Mo を用いたときよりも  $200\ ^\circ\text{C}$  も低い焼結温度で最大引張強さを得た.

以上のことから, 粒径  $0.7\ \mu\text{m}$  の Mo を用いて, Ti-Mo 合金の焼結体を作製すると, 低い焼結温度で高い引張強さの焼結体が得られた.

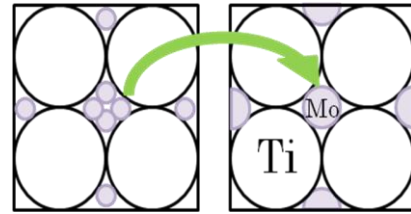


Fig.3 Model of Ti compact.

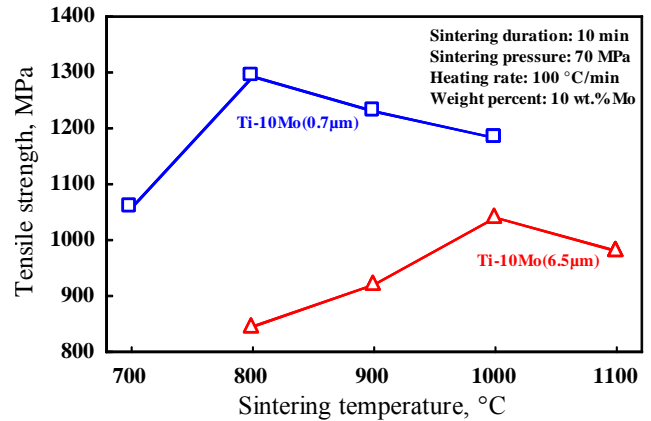


Fig.4 Effect of sintering temperature on tensile strength of Ti-Mo alloy.

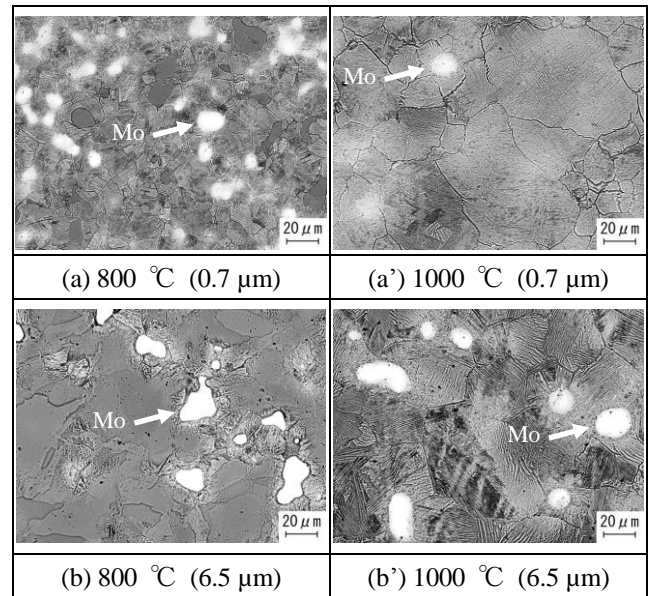


Fig.5 Microstructures of Ti-10 wt.% Mo sintered at  $800\ ^\circ\text{C}$  and  $1000\ ^\circ\text{C}$ .

### 5. 参考文献

- [1] 菊池源基, 出井裕, 高山敏清: 「放電プラズマ焼結法によるチタン合金焼結体の機械的性質に及ぼす添加元素の影響」, 粉体粉末冶金協会講演概要集平成 23 年秋季大会, pp.144, 2011.
- [2] R.M. German 著者, 三浦秀士, 高木研一共訳: 「粉末冶金の科学」, 内田老鶴圃, pp.183-184, 1996.