

Ti-6Al-4V 合金の高強度化へ向けて ～粉末冶金法からのアプローチ～

伊藤 芳典*

1. はじめに

チタンおよびチタン合金は比強度が大きく、高い耐食性や生体適合性など優れた特性を示すが、機械加工性や塑性加工性に劣ることから、加工コストが高いという欠点がある。したがって3次元複雑形状の金属部品をニアネットシェイプで作製でき、後加工をほとんど必要としない金属粉末射出成形法(MIM)は、チタンおよびチタン合金の有効な加工法として期待されている。MIMプロセスの基本工程概略図を図1に示す。金属粉末とバインダを混練し、射出成形機を用いて形状を付与後脱脂および焼結の工程を経て、金属部品を量産する技術である。焼結体の形状は射出成形されたプラスチック並みの精度を有しており、用いる粉末の平均粒径が20 μm以下と微細なことから、溶製材と同等の機械的性質を有する。

粉末冶金法の特徴のひとつとして、原料粉末に種々の金属あるいは合金粉末を添加することで、容易に合金組成を制御できることが挙げられる。本研究では、Ti-6Al-4V合金に、針状の組織のラス幅を減少させる効果が認められたMo⁽¹⁾⁽²⁾、資源として豊富に存在するFe、VやMoよりも安価なCrに着目し、混合粉末法を用いて作製したTi-6Al-4V合金の高強度化を試みたので、その結果を紹介する。

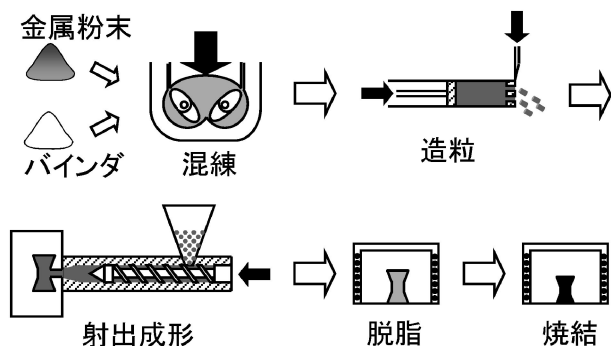


図1 MIMプロセスの基本工程概略図。

2. Ti-6Al-4V合金の高強度化

原料粉末にはTi粉末と、Al-40V合金粉末を用い、添加粉末としてMo、Fe、Cr粉末を用いた。使用した粉末の形態を図2に示す。合金要素となる粉末は、平均粒径が数μm程度の微細なものを選択した。微細な粉末は、酸素量が多く、焼結体の延性の低下が懸念されるが⁽³⁾、緻密化が促進され⁽⁴⁾、高融点金属のMoが焼結のみで十分に拡散し⁽¹⁾⁽²⁾、低融点金属の熔融による流出孔の形成を軽減することができ⁽⁵⁾、焼結のみで十分に合金化した良好な焼結体が得られる。

図3にMo、Fe、Crの添加量と焼結体の引張強さの関係を示す。Mo添加材は1473 K×28.8 ks、Fe、Cr添加材は1373 K×28.8 ksの焼結を行った結果である。焼結体の引張強さはJIS 60種を十分に満足し、Fe、Crを添加した焼結体では1000 MPaを超える高い引張強さを示す。引張強さは焼結体の酸素量に強く影響を受けるが⁽⁴⁾、焼結体の酸素量はそれぞれ0.28~0.31 mass%程度⁽²⁾⁽⁵⁾であり、引張強さの上昇は各

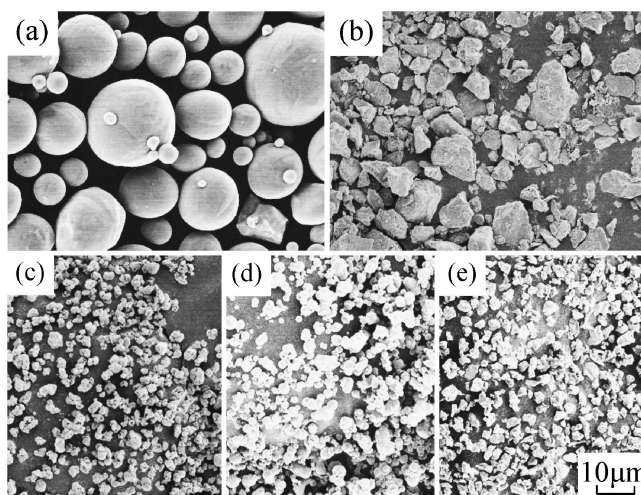


図2 原料粉末の電子顕微鏡写真。(a) Ti ($D_{50} = 24.4 \mu\text{m}$), (b) Al-40V合金 ($D_{50} = 7.77 \mu\text{m}$), (c) Mo ($D_{50} = 1.59 \mu\text{m}$), (d) Fe ($D_{50} = 4.31 \mu\text{m}$), (e) Cr ($D_{50} = 2.97 \mu\text{m}$)

* 静岡県工業技術研究所浜松工業技術支援センター材料科上席研究員(〒431-2103 浜松市北区新都田 1-3-3)
Strengthening of Ti-6Al-4V by Metal Injection Molding; Yoshinori Itoh(Hamamatsu Technical Support Center Industrial Research Institute of Shizuoka Prefecture, Hamamatsu)
Keywords: metal injection molding, titanium alloy, strengthening, mixed powder, powder metallurgy
2010年5月23日受理

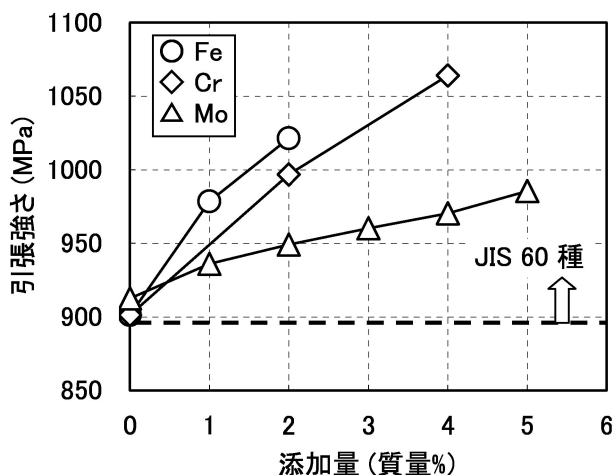


図3 焼結体の引張強さに及ぼす Mo, Fe, Cr 添加量の影響.

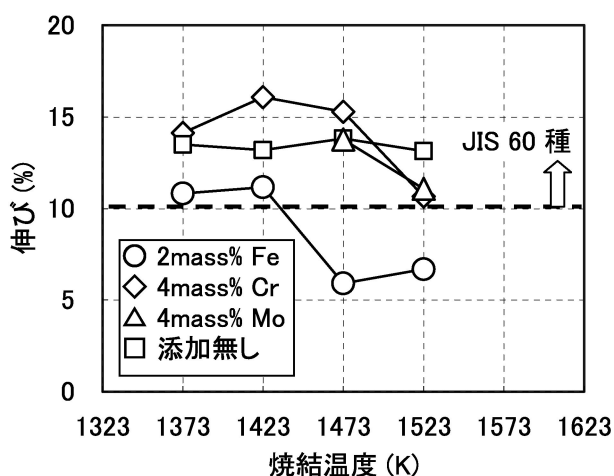


図4 焼結体の伸びに及ぼす焼結温度の影響.

合金元素添加の影響と考えられる.

焼結体の伸びは、添加元素の含有量を増加すると焼結条件を最適化しても10%を下回る傾向が見られる。図4に添加元素を変化させた場合における焼結温度と伸びの関係を示す。この場合の焼結時間は28.8 ksである。高密度化するために焼結温度を上昇させると、10%以上の良好な延性を示す合金組成でも、伸びの減少傾向が見られる。この伸びの減少メカニズムについては現在検討中である。

いずれにしても、Ti-6Al-4V合金にFeあるいはCrを添加することで、1000 MPaを超える高強度と、10%を超える伸びを兼ね備えた高強度・延性を示すチタン合金焼結体を得ることができた。

焼結体のマイクロ組織を図5に示す。焼結体のマイクロ組織は、添加元素によりラズ幅に違いが見られるが、粗大な針状 α 組織を呈する。これは、焼結が β 変態温度を超えて行われ、その後炉内で徐冷されるため、数10 μm ~数100 μm に成長した旧 β 粒内より α 相の変態が生じた結果である。MIMにより作製された焼結体は基本的には焼結のまま製品

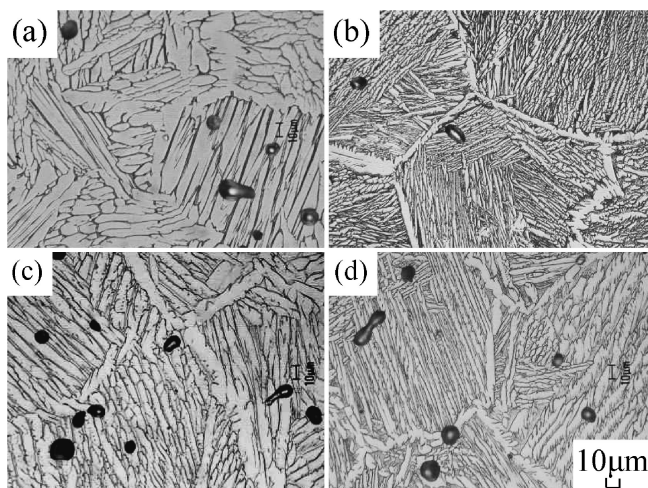


図5 焼結体のマイクロ組織. (a) 添加なし (b) 4 mass% Mo (c) 2 mass% Fe (d) 4 mass% Cr

として出荷されることから、一般的には熱処理等でのマイクロ組織制御による機械的性質の改善は行われない。ちなみに、 $\alpha + \beta$ 型チタン合金であるTi-6Al-7Nb合金⁽⁵⁾、Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo合金⁽⁶⁾、Ti-4.5Al-3V-2Fe-2Mo合金⁽⁷⁾、ニ α 型チタン合金であるTi-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0.1Si合金⁽²⁾においてもMIMで作製すると上記Ti-6Al-4V合金とほぼ同様のマイクロ組織を呈する。

3. 今後の展開

今回、混合粉末にて合金組成を調整した種々のチタン合金をMIMを用いて作製できることを示した。使用できる粉末が制限されることや、マイクロ組織制御が困難である等のデメリットもあるが、十分な機械的性質が得られれば、新規な合金組成での試作が容易であり、量産に移行できるというメリットもあろう。今後は低コスト化に向け汎用元素を活用したチタン合金の開発⁽⁸⁾を進めていく予定である。

文 献

- (1) 伊藤芳典, 針幸達也, 佐藤憲治, 三浦秀士: 粉体および粉末冶金, **52**(2005), 43-48.
- (2) 伊藤芳典, 植松俊明, 佐藤憲治, 三浦秀士, 新家光雄: 粉体および粉末冶金, **53**(2006), 750-754.
- (3) 伊藤芳典, 植松俊明, 佐藤憲治, 三浦秀士: 粉体および粉末冶金, **56**(2009), 259-263.
- (4) 伊藤芳典, 植松俊明, 佐藤憲治, 三浦秀士: 粉体および粉末冶金, **55**(2008), 666-670.
- (5) Y. Itoh, H. Miura, T. Uematsu, K. Sato, M. Niinomi and T. Ozawa: Ti-2007 Science and Technology, ed. by M. Niinomi, et al., The Japan Institute of Metals, Kyoto, Japan, vol. 2, (2007), 1185-1188.
- (6) 伊藤芳典, 植松俊明, 佐藤憲治, 三浦秀士, 新家光雄: 粉体および粉末冶金, **55**(2008), 720-725.
- (7) 伊藤芳典, 植松俊明, 佐藤憲治: 静岡県工業技術研究所研究報告, **1**(2008), 99-104.
- (8) 藤井秀樹, 高橋一浩, 森 健一, 川上 哲, 國枝知徳, 大塚 弘明: までりあ, **48**(2009), 547-553.