

チタン

TITANIUM JAPAN

October 2022

Vol.70 No.4

目 次

〈研究報告〉

赤外線サーモグラフィを利用した疲労限度推定	松永 哲也 ... 1
レーザ粉末床溶融結合を用いたチタン含有生体用ハイエントロピー合金 (BioHEAs) の創製	小笹 良輔 ... 2
チタン合金/窒化珪素セラミックス異材接合のための液相拡散接合法の開発	戸部 裕史 ... 3
先進構造材料の高機能化に関する研究—第63回本多記念賞受賞—	花田 修治 ... 5
Ti-6Al-4V 合金板のレーザ切断と照射による微視組織の変化	酒井 孝, 深田佳帆里, 黄 河, 金 英俊, 小俣 均 ... 11
Ti-6Al-4V の凝固過程における溶質再分配挙動	水上 英夫, 白井 善久 ... 17
$\alpha + \beta$ 型および β 型 Ti 合金溶製材上に積層造形した Ti-6Al-4V の組織様相と後熱処理の影響	植松 美彦 ... 24
微視組織イメージを用いた効率的な変形解析環境の構築とそのチタン・チタン合金への適用	河野 義樹 ... 28
冷間および温間前方軸-後方缶押し鍛造によるチタン合金のトライボロジー挙動	早川 邦夫, 久保田義弘 ... 34
金属 AM を使用した薄肉チタン配管の造形姿勢の改良	山本 晃弘, 山田 洋輔, 栗田 健也, 藤井 埜至 ... 40
Ti-Al-Zr 合金の β 固溶体中における 1473K での三元系拡散	當代 光陽, 高橋 知司, 南埜 宜俊, 真中 俊明 ... 46
純チタン冷延薄板の延性に及ぼす結晶粒径, 板厚および引張方向の影響	岳辺 秀徳, 潮田 浩作 ... 52

〈展示会情報〉

Sea Japan 2022 への出展報告	金丸 信夫 ... 58
第9回関西メタル ジャパン (高機能 金属展/2022年) への出展報告	芦原 幸一 ... 60
第13回ヘルスケア・医療機器 開発展 (MEDIX) への出展報告	菅 哲史 ... 62
経済産業省こどもデー2022年報告	芦原 幸一 ... 64

〈事務局からの案内〉

文献抄録	65
2022年6月~8月中の主なニュース	68
金属チタン統計	70
委員会報告	72
チタンに関係する催物紹介	73
チタン需要開拓助成事業	75
令和5(2023)年度チタン研究助成対象研究課題の公募	76

〈編集後記〉

新谷 直子 ... 78



レーザー粉末床溶融結合を用いたチタン含有生体用 ハイエントロピー合金 (BioHEAs) の創製

小 笹 良 輔*

OZASA, Ryosuke* Development of Ti-Containing Bio-High Entropy Alloys (BioHEAs) by Laser-Powder Bed Fusion



1. 目 的

チタンおよびチタン合金は優れた機械的性質と生体親和性を示し、医療用金属材料として幅広く用いられている。近年、当研究グループでは、チタンを含む5種類以上の生体為害性が低い元素からなる生体用ハイエントロピー合金 (Bio-High Entropy Alloys: BioHEAs) を創製した¹⁾。しかしながら、多くの BioHEA において、ギブスの相律による多相化 (相分離傾向) と High entropy 効果 (固溶体形成傾向) による競合の結果として、 μm オーダーのマクロな相分離が生じ易く、従来の BioHEA は単相固溶体として本来発現すべき機能性を十分に発揮できていない²⁾。本研究では、急冷凝固を実現可能なレーザー粉末床溶融結合 (Laser-Powder Bed Fusion: L-PBF) を材料創製プロセスとして適用することで、高機能性を有する BioHEA 固溶体の創製を目的とした。

2. 結 果

5 元系等量 TiZrNbTaMo 合金 (at%) は、パラメータ法による固溶体形成条件 ($\Delta S_{\text{mix}} \geq 1.5R$, $-20 \leq \Delta H_{\text{mix}} \leq 5$, $\delta \leq 6.6$, $\Omega \geq 1.1$, $VEC = 4.80$) を満足するものの、熱力学平衡計算により当該合金では2種類の異なる BCC 相に相分離することが予想される (Fig. 1a)。とりわけ、凝固開始温度にて Ta の平衡分配係数 k ($k = C_s / C_l$, C_s : 固相濃度, C_l : 液相濃度) は 1.61 ($k > 1$) を示し、これは Ta が固相に偏析する傾向が強いことを意味する。実際に、鋳造材ではデンドライト/インターデンドライトからなる相分離組織が観察された (Fig. 1b)。一方、L-PBF 材では、鋳造材で見られたマクロな元素偏析/相分離が、急冷凝固により SEM-EDS 検出限界以下のサイズにまで抑制された (Fig. 1c)。つまり、急冷法 ($\sim 10^7 \text{ K/s}$) としての L-PBF は、安定状態では相分離傾向の強い種類の BioHEA に対しても、マクロな相分離を抑制可能であることが示された。結果として、L-PBF 材は鋳造材よりも高い 0.2% 耐力を示した。

相分離が凝固時の元素分配により生じることを考慮すると、溶融状態から凝固完了に要する時間の短縮が相

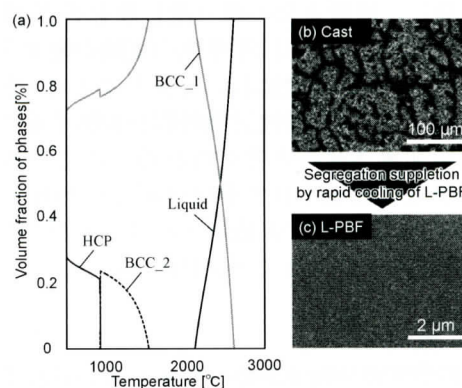


Fig. 1 Suppletion of micron-scaled phase segregation by laser-powder bed fusion (L-PBF). (a) Equilibrium volume fraction of constituent phases calculated using Thermo-Calc software. SEM-EDS maps for Ta in (b) cast and (c) L-PBF materials of TiZrNbTaMo alloy.

分離抑制には有効であると考えられ、凝固温度範囲 ΔT (液相線温度と固相線温度の温度差) の低減がその戦略の一つとなる。例えば、本研究で注目した 5 元系等量 TiZrNbTaMo 合金では ΔT が約 450°C であるのに対して、6 元系非等量 $\text{Ti}_{28.33}\text{Zr}_{28.33}\text{Hf}_{28.33}\text{Nb}_{6.74}\text{Ta}_{6.74}\text{Mo}_{1.5}$ 合金 (at%) は約 50°C の小さい ΔT を示す³⁾。今後、L-PBF による急冷と ΔT 低減に基づく合金設計を重畳することで、BioHEAs の固溶体形成とさらなる高機能化が期待される。なお、本研究は大阪大学大学院工学研究科中野貴由教授との共同研究である。本研究遂行にあたり、(一社)日本チタン協会令和 3 年度チタン研究助成によりご支援をいただきました。ここに深く感謝の意を示します。

参 考 文 献

- 1) M. Todai, T. Nakano et al., Scripta Materialia, 129 (2017) 65–68.
- 2) T. Nagase, T. Nakano et al., Journal of Alloys Compound, 753 (2018) 412–421.
- 3) Y. Iijima, T. Nakano et al., Materials and Design, 202 (2021) 109548.

* 大阪大学大学院工学研究科マテリアル生産科学専攻 助教