

Title	Microstructure control and enhanced mechanical properties of β -solidifying TiAl fabricated by laser powder bed fusion
Author(s)	朴, 盛賢
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/96070
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

Abstract of Thesis

Name (朴 盛賢)

Title

Microstructure control and enhanced mechanical properties of β -solidifying TiAl fabricated by laser powder bed fusion
(レーザー粉末床溶融結合法による β 相含有TiAl合金の微細組織制御と機械的特性の向上)

Abstract of Thesis

This study elucidated the microstructural evolution mechanisms of additively manufactured γ -titanium aluminide (γ -TiAl) alloy under the rapid solidification condition and the relationship between microstructure and mechanical properties. This study will contribute to the establishment of the competitiveness of the metal additive manufacturing (AM) technique and the enhancement of mechanical performance with tailoring microstructure in γ -TiAl alloys to satisfy aviation and aerospace industrial requirements.

In Chapter 1, the current knowledge of γ -TiAl alloys, the alloy design approach for β -solidifying TiAl, and the utilization of various AM processes for γ -TiAl alloy were reviewed. Lastly, the research aim of this thesis was defined.

In Chapter 2, prior to the discussion of AM research, gas-atomized β -solidifying TiAl powder characteristics used in this study were evaluated to understand the effect of rapid solidification on the microstructure compared to the casting process. Because the microstructure of gas-atomized powders was closely related to the microstructure of the AM products regarding the similarity in the cooling rate of AM and gas atomization processes. As a result of the rapid cooling rate, the powder consisted of a remanent β phase and a predominant massive α_2 phase with high chemical disequilibrium.

In Chapter 3, the complexity of microstructure due to rapid cooling rate was investigated by single and multi-track exposures using the laser powder bed fusion (L-PBF) process. The microstructural evolution mechanism in a single track during the rapid solidification was demonstrated with numerical and thermodynamic simulations. Furthermore, the relationship between the microstructure characteristics and the hatch space in multi-tracks was addressed. The microstructure in the melt pool was divided into band-like massive α_2 phase in the melt pool boundary and the β phase in the center of the melt pool. Furthermore, multi-tracks utilizing different hatch spacings enabled two different distinct microstructures with strong crystallographic texture and random distribution.

In Chapter 4, based on the optimized process parameters condition in Chapter 3, the effect of hatch spacing on densification, microstructural evolution, and mechanical properties of β -solidifying TiAl manufactured by the L-PBF process was discussed. The densification was strongly influenced by hatch spacing, reaching the max value (99.98%) with 0.01 mm hatch space due to the heat accumulation driven by the adjacent scan tracks. In addition, different microstructures are observed depending on the hatch spacings because of the different thermal histories during the manufacturing process.

In Chapter 5, among the high-densification samples discussed in Chapter 4, the relationship between process parameters and variant selection of α_2 phase, phase transformation (α_2/γ lamellae) after heat treatment, and mechanical properties at high-temperature were discussed. Moreover, the crystallographic texture, variant selection of the α_2 phase, and mechanical properties at high temperatures were investigated by utilizing different scanning strategies. Different volumetric energy density inputs and scanning strategies of the L-PBF process altered the β to α variant selection mechanism and crystallographic texture in the β phase, respectively. Furthermore, the high-temperature tensile properties were influenced by the development of the crystallographic texture of β phase and α_2 variant selection.

In Chapter 6, the novel findings were summarized. Based on the insights gained herein, the expected contributions to the advancement of β -solidifying γ -TiAl alloys and future work are presented.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (朴 盛 賢)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	中野 貴由
	副 査	教授	安田 弘行
	副 査	教授	小泉 雄一郎
	副 査	准教授	松垣 あいら
論文審査の結果の要旨			
<p>本論文では、航空機エンジン用材料として注目されている β 相含有 TiAl 合金について、レーザー粉末床溶融結合 (Laser Powder Bed Fusion: L-PBF) 法による急凝固条件下での結晶集合組織制御に基づく機械的特性の向上に関する指針構築に取り組んでいる。具体的には、L-PBF 法による急凝固過程の制御が β 相含有 TiAl 合金の相変態挙動ならびに結晶集合組織形成に及ぼす影響について系統的に研究・議論し、航空・宇宙材料分野で求められる機械的特性を発現するための組織制御法の確立への新たな指針を得ている。</p> <p>第 1 章では、TiAl 合金に関する現在までの知見をまとめ、TiAl 合金の設計指針や、様々な AM (Additive Manufacturing) プロセスの活用について述べている。これまでに得られた知見に基づき、L-PBF 法による新たな結晶集合組織制御のアプローチを説明し、本研究の意義と目的を明確化している。</p> <p>第 2 章では、β 相含有 TiAl 合金の組織形成に及ぼす急凝固プロセスの影響を明らかにするため、ガスアトマイズ法によって作製した β 相含有 TiAl 合金粉末の凝固組織の特徴を、 casting プロセスで得られる組織と比較して、詳細に解析している。ガスアトマイズプロセスは、冷却速度が L-PBF 法におけるそれと類似しており、その結果、ガスアトマイズ粉末には残留 β 相とマッシュ α_2 相といった非平衡相が形成されることを明らかにしている。</p> <p>第 3 章では、 casting プロセスで作製した β 相含有 TiAl 合金基板上に形成したガスアトマイズ粉末層への単一および複数回のレーザー照射により、急凝固に伴う微細組織変化を検証している。加えて、急凝固による微細組織形成メカニズムを伝熱解析および Scheil-Gulliver シミュレーションにより示し、レーザー照射による微細組織形成とハッチ間隔との関係性について議論している。溶融池内部の微細組織は、溶融池境界部に存在するバンド状の α_2 相と、溶融池中央部に存在する β 相により構成されることを示している。さらに、異なるハッチ間隔を利用した複数回照射により、異方性をもつ単結晶様集合組織と多結晶様集合組織の 2 つの異なる微細組織が得られることを明らかにしている。</p> <p>第 4 章では、L-PBF 法で造形した β 相含有 TiAl 合金の造形密度、結晶集合組織およびその機械的特性に及ぼすハッチ間隔の影響について議論している。造形密度はハッチ間隔に強く依存し、隣接するスキントラックによって助長される熱蓄積により制御されることを示している。さらに、ハッチ間隔の制御は熱履歴の変化を生じさせ、異なる結晶集合組織の形成につながることを明らかにしている。</p> <p>第 5 章では、第 4 章で取り上げた高密度造形条件において、β 相から析出する α_2 相バリエーションの選択性、熱処理後の相変態、および高温での機械的特性を、走査戦略と関連づけて考察している。L-PBF プロセスの体積エネルギー密度と走査戦略の違いにより、β 相から α 相への相変態機構ならびに β 相の結晶集合組織がそれぞれ変化することを示している。さらに、高温引張特性は β 相の結晶集合組織と α_2 相のバリエーション選択性により支配されることを明らかにしている。</p> <p>第 6 章では、本論文で得られた知見を総括している。</p> <p>以上、本論文は、L-PBF 法の急凝固プロセスに基づいた β 相含有 TiAl 合金の結晶集合組織制御と、それに伴う新たな機能発現を提唱するものであり、材料工学の発展に寄与するところが大きい。</p> <p>よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。</p>			