

航空機エンジン用TiAlタービン翼の3Dプリンティング

工学研究科 マテリアル生産科学専攻

准教授 趙 研

 <https://researchmap.jp/choken>

教授 安田 弘行

 <https://researchmap.jp/read0051691>

教授 中野 貴由

 <https://researchmap.jp/read0013987>

研究の概要

金属系3Dプリンティング（以下、3DP）では、粉末の積層・溶融・凝固を繰り返すことで任意形状の三次元構造物を容易に造形できることから、ものづくりに革新をもたらす技術として注目を集めている。本研究では、3DPの一種である電子ビーム粉末床溶融結合法（以下、EB-PBF）を用いて、航空機用エンジンに用いる、TiAl合金製の低圧タービン翼の造形に取り組んだ。その結果、TiAl特有の微細組織は、EB-PBFのビーム電流、走査速度といったプロセス条件に強く依存することを明らかとした。さらに、その力学特性は微細組織に強く依存し、とりわけ、低ビーム電流、高走査速度の条件では、冷却速度が速いため、マッシュ変態、という特殊な相変態を経由した組織発展が生じることで、既存のTiAl合金をはるかに凌駕する高温強度を有する造形体の作製に成功している。

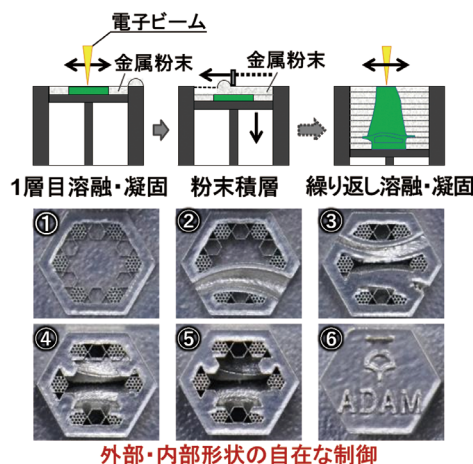
研究の背景と結果

TiAl金属間化合物は軽量高強度で耐酸化性に優れることから、航空機用エンジンの低圧タービン翼に実用化されている。従来、このTiAlタービン翼は精密鋳造法で製造されているが、TiAlは非常に活性であるため、るつぼとの反応によるコンタミや酸化によって形成される表面汚染層を切削する必要があり、このため原材料が大量にロスする点が問題であった。近年、注目を集めている金属系3Dプリンティング（積層造形）では、粉末の積層・溶融・凝固を繰り返し行うことで、任意形状の三次元構造物を造形することが可能である。とりわけ、電子ビーム粉末床溶融結合法（Electron Beam Powder Bed Fusion、以下、EB-PBF）では、るつぼを用いず、真空中で造形するため、コンタミや酸化の影響を心配する必要がないため、TiAlの造形に最適なプロセスであるといえる。大阪大学大学院工学研究科附属異方性カスタム設計・AM研究開発センターは2014年12月に設立され、その活動の一環として、EB-PBFによるTiAlタービン翼の製造技術開発に取り組んできた。その結果、EB-PBFのビーム電流、走査速度といった造形条件を変化させると、TiAl特有の微細組織を制御可能であることを明らかにしている。例えば、高ビーム電流、低走査速度の条件では通常の鋳造材と同じような組織発展をたどるが、低ビーム電流、高走査速度の条件では、電子ビーム移動後の冷却速度が速いため、マッシュ変態、と呼ばれる特殊な相変態が生じ、その後形成されるナノ層状組織に由来して、従来のTiAl合金を凌駕する高温強度が得られる。以上のように、EB-PBFはタービン翼のような複雑形状を再現できるだけでなく、TiAl特有の組織を自由自在に制御できることを明らかにしている。以上のような知見を活かして、近年では、20cm長のTiAlタービン翼の試作とその組織制御にも成功している。

研究の意義と将来展望

一般に、3DPは形状制御のためのツールとして用いられてきた。しかしながら、本研究では、そのプロセス条件を変化させることで、TiAl合金の微細組織と力学特性を自由自在に制御できることを明らかとし

ている。さらに、得られた知見を活かして、20cm長のタービン翼の製造技術の確立にも成功している。3DPによる形状・組織同時制御が実現したことで、新規タービン翼開発に新たな展開が期待される。



外部・内部形状の自在な制御

図1 EB-PBFによる造形の概略図と外部・内部形状制御の例。一層ずつ積層するため造形体内部に微細な構造を作り込むことが可能。

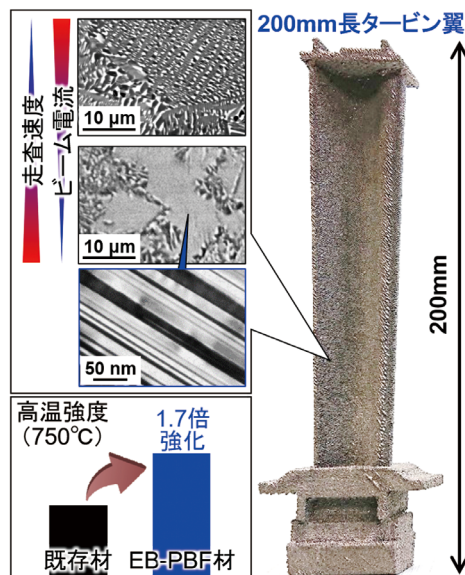


図2 プロセス条件を制御することで微細組織が変化。特殊な相変態を利用することでナノ層状組織が得られ、既存材の1.7倍もの高強度化を実現。

特許 特許第6792837号

論文 Cho, Ken; Yasuda, Hiroyuki; Nakano, Takayoshi et al. Peculiar microstructural evolution and tensile properties of β -containing γ -TiAl alloys fabricated by electron beam melting. Additive Manufacturing. 2021, 46: 102091. doi: 10.1016/j.addma.2021.102091
Cho, Ken; Yasuda, Hiroyuki; Nakano, Takayoshi et al. Improving the tensile properties of additively manufactured β -Containing TiAl alloys via microstructure control focusing on cellular precipitation reaction. Crystals, 2021, 11 (7), p.1-13. doi: 10.3390/cryst11070809

参考URL <http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/sipk/am/>
<http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/mse3/mse3-homeJ.htm>
<http://www.mat.eng.osaka-u.ac.jp/msp6/nakano/>

キーワード 3Dプリンティング、積層造形、航空宇宙材料、金属間化合物、高温耐熱材料