

金属積層造形技術の現状とエネルギー機器材料応用への可能性

Current Status of Metal Additive Manufacturing Technology and Potential for Energy Equipment Material Applications

(1) 金属積層造形研究開発の現状

(1) Current Status of Metal Additive Manufacturing R&D

*千葉 晶彦¹¹東北大学

1. はじめに

金属積層造形 (AM) 技術は、航空宇宙、自動車産業などで革新的な製造技術として発展している。特に、電子ビーム積層造形 (EB-PBF) は高エネルギー密度を持つ電子ビームを用い、従来の加工技術では困難だった形状や高性能部品の製造を可能にする技術として注目されている。しかし、EB-PBF ではメルトプールの挙動や温度分布が製品品質に影響するため、欠陥を抑える高度なプロセス管理が求められる。本発表では、EB-PBF を中心に金属積層造形技術の現状を概説し、インシチュ監視技術を活用した無欠陥造形法について紹介する。特に、産業界での実用化に向けては、造形品質の安定化が重要な課題であり、EB-PBF やレーザー積層造形 (LB-PBF) における欠陥低減や品質向上のための最新のプロセス制御技術についても紹介する。

2. EB-PBF と LB-PBF のプロセス特性の比較

近年、EB-PBF プロセスにおいてリアルタイムモニタリング技術が導入され、造形中にメルトプールの挙動を観察することで、欠陥の発生を予測し制御する研究が進められている。特に、EB-PBF とレーザー積層造形 (LB-PBF) のプロセス特性を比較することで、それぞれの欠陥発生メカニズムを明らかにできる。EB-PBF ではスパッタの発生が少なく、比較的安定したメルトプールが形成されるのに対し、LB-PBF では蒸発反跳圧によるスパッタが多く、欠陥形成リスクが高い。特に、LB-PBF では高エネルギー密度のレーザー照射によりキーホールモードの溶融が発生しやすく、これがポア (気孔欠陥) の主な原因となることがわかっている。

3. パウダーベッドの特性とメルトプールの形成

パウダーベッドの特性がメルトプールの形成に与える影響についても検討されている。粉末の形状や粒度分布、気孔率がメルトプールの安定性に影響を与えることが分かっており、球形度の高い粉末 (PREP 粉末) はエネルギー吸収率が均一であり、安定した造形が可能であるのに対し、不規則な形状を持つガスアトマイズ (GA) 粉末では熱伝導率が低く、過度の溶融や未溶融が発生しやすい。さらに、粉末の充填密度や熱放射率の違いが、造形品質や内部欠陥の発生に関わることも明らかになった。

4. 天面平坦度による欠陥予測技術とプロセスマップ最適化手法

本発表では、メルトプールの直接監視ではなく、造形物の最上表面 (天面) の平坦度を評価し、内部欠陥を予測する手法を紹介する。分析の結果、平坦な天面 (Even Surface) を持つ試料は欠陥が少なく、不均一な天面 (Uneven Surface) や多孔質な天面 (Porous Surface) の試料ではポアや未溶融欠陥が多く発生することが確認された。この知見を基に、機械学習のサポートベクターマシン (SVM) を活用し、天面の平坦度と欠陥発生確率の関係を学習させ、最適なプロセス条件を導くプロセスマップ最適化手法を開発した。この手法により、ビーム電流、走査速度、エネルギー密度といったプロセス変数を最適化し、欠陥のない部品を製造する条件を特定できる。さらに、リアルタイム監視と組み合わせることで、造形中の異常を検出し、再溶融プロセスを適用して欠陥を修正するシステム構築にも応用可能である。

本発表で紹介する研究成果は、EB-PBF をはじめとする金属積層造形技術において欠陥の発生を抑えつつ高品質な部品を安定して製造するための基盤技術となる。特に、リアルタイム監視やプロセスマップ最適化手法の活用により、エネルギー機器を含む多様な産業分野への応用が期待され、高温高压環境に耐える特殊材料や複雑形状部品の実用化を大きく前進させる可能性がある。今後は、完全自動化システムの開発や異なる材料系への適用研究を進めることで、従来の加工では困難だった高度な金属部品の製造領域をさらに拡張し、産業界における積層造形技術の活用を一層促進していくと考えられる。

*Akihiko Chiba¹¹Tohoku Univ.