

3D プリントを用いた核融合炉ダイバータ用 タングステン系材料の開発

デジタルものづくり課 山本貴文

1. 緒言

タングステン(W)は、高融点、高密度、高い熱伝導、低い熱膨張率、高温域における高い強度等、他の金属には無い優れた材料特性を有している金属である。これらの特徴から、W 材料は医療機器のエキス線コリメータ、電子線発生用のフィラメント、単結晶用の溶解のつぼ等、特殊な用途で工業的に利用されている。最近では、核融合炉のプラズマ対向材料の素材候補としても有力視されている。これは、Wが有する上記の特性に加えて、低トリチウム蓄積特性と耐スパッタリング性が、核融合炉のプラズマ/中性子照射環境下で優位に作用するためである。一方、難加工材料に分類される W の製造方法は、粉末冶金プロセスに基づくことが知られる。このため、金型の制約から複雑形状の製造が難しく、機械加工を施したとしても、製造可能な形状は単純形状に限定される。以上を踏まえて、著者は純 W 材料の新たな加工技術として、3D 積層造形(Additive Manufacturing, AM)の適用を検討してきた¹⁾。AM では造形体の高密度化が課題とされるが、レーザ照射条件の最適化により純 W 造形体の相対密度は 98%以上を達成した。しかし、造形体には多量のクラックの発生が確認され、その抑制が課題となった。このため、本研究では W と固溶体を形成するレニウム(Re)の添加による固溶効果を利用して、クラックを抑制した W 系材料の創製を目的とした。

2. 実験方法

造形装置には、EOS 社製 EOSINT M280 を用いた。造形材料には、純 W 粉末と純 Re 粉末から調整された混合粉末を使用した。純 W と純 Re の平均粒径は、それぞれ 19. μm と 14 μm である。目標組成は、W-1%Re, W-3%Re, W-10%Re (mass%)の 3 種類とし、目標組成に応じて Re 添加量を調整・混合した。これらの混合粉末を用いて、高密度体を得るための最適なレーザ照射条件を探索した。制御したレーザ照射パラメータは、レーザ出力、走査速度、走査距離である。なお、積層厚は 0.02 mm の固定値とした。密度測定用の造形体の形状は、直径 10 mm×高さ 5 mm の円柱形状である。密度測定は、アルキメデス法に基づいて評価した。

3. 実験結果および考察

図 1 に造形体の密度と投入したレーザエネルギー密度

との関係図を示した。横軸のレーザエネルギー密度(E_d)は、レーザ出力、走査速度、走査距離、積層厚から算出される体積当たりのエネルギー投入量を示している。なお、図中には参考試料として純 W 粉末を用いたレーザ照射条件の探索実験の結果も併記した。いずれの合金組成においても、W-Re 造形体の相対密度は E_d に強く依存することが分かる。低 E_d 領域($\sim 350 \text{ J/mm}^3$)では、エネルギー密度の増加とともに相対密度は増加する傾向を示した。その後、中 E_d 領域($350 \sim 450 \text{ J/mm}^3$)では最高密度に到達し、相対密度 98%以上の高密度体を得ることができた。この結果は、純 W の結果と概ね一致した。一方で、高 E_d 領域($450 \sim \text{ J/mm}^3$)では、相対密度が顕著に減少するレーザ照射条件が散見された。これは、高い熱エネルギーの投入により、局所的に W の沸点以上に過熱され、W の蒸発により生じたガス欠陥が高密度化を阻害したためと推察される。以上より、W-Re 混合粉末を用いて高密度な造形体の製造に適した E_d 領域(レーザ照射条件)を見出すことに成功した。今後、この造形体のクラック挙動と金属学的な材料解析を進める予定である。

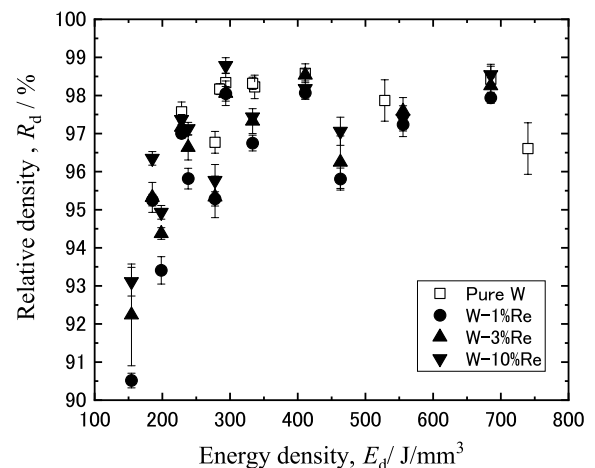


図 1 W-Re 造形体の相対密度とエネルギー密度の関係

【参考文献】

- 1) T. Yamamoto, M. Hara, Y. Hatano, Effects of fabrication conditions on the microstructure, pore characteristics and gas retention of pure tungsten prepared by laser powder bed fusion, International Journal of Refractory Metals and Hard Materials 95 (2021) 105410

【謝辞】

本研究は科研費(若手研究: 20K14451)の助成を受けたものである。