

異方機能性を制御するための W 系材料を用いた 金属 3D プリント技術の構築

デジタルものづくり課 山本貴文、 氷見清和

1. 緒言

金属積層造形法(金属 3D プリンティング)は、ファイバーレーザー等の熱源により薄くひかれた金属粉末の層を選択的に溶融・凝固させ、形成された層を積み重ねて金属部材を得るプロセスである。このプロセスは、従来の変形加工や除去加工では作製困難な材質や形状が、3D データから迅速かつモールドレスで作製できる特徴を有している。高融点金属であるタングステンは、高温領域でも良好な熱伝導率と強度を示す材料である。脆性的な性質を示すタングステン材料は、出発原料を材料粉末とする粉末冶金・圧延等により成形される。しかし、型や加工上の制約から、製造可能な形状は板形状や線材など比較的単純形状に限られる。このため、複雑形状に対応したタングステン部材の加工技術が求められている。

前報¹⁾では、相対密度 98.0 %以上を示す高密度な純タングステン造形体には、結晶粒界に沿ってクラックが生じていることを、金属組織観察から明らかにした。クラックは材料特性を劣化させ、その配向は異方性の発現につながる可能性がある。本報では、クラックが機械的特性と熱特性に及ぼす影響を異方性の観点から調査するとともに、レーザー照射条件の制御によりこれらの特性の改善を試みた。

2. 実験方法

金属 3D プリンタには、ドイツ EOS 社製 EOSINT-M280 を用いた。造形装置に搭載されているレーザーは、最大出力 400 W の Yb-ファイバーレーザーであり、スポット径は約 0.1 mm、波長は 1070 nm である。供試粉末である純タングステン粉末は、タングステン酸化物の水素還元により精製された平均粒径約 17 μm の多角形状粒子である。

純タングステンの造形には、高密度化が可能なレーザー照射条件(出力、走査速度、走査ピッチ、積層厚)を用いた。また、造形はレーザーのスキャン方向を一層ごとに約 67° ずつ回転させ、アルゴン雰囲気中(酸素濃度: 0.1 %以下)で行われた。図 1 に、引張試験および熱伝導率測定に供した試料の造形配置と形状を示す。各試験片は、造形方向に平行(Z 方向)と直角(Y 方向)が用意され、これらは金属 3D プリンタにてブロックを造形後、放電加工により目的形状に調整した。引張試験には、オートグラフ(島津製作所社, AG-50kNX)を用い、室温で 0.5 mm/min の速度で試

験を行った。試験後、走査型電子顕微鏡を用いて破面観察を行った。熱伝導率測定には、レーザフラッシュ装置(アドバンスト理工, TC-9000)を用い、室温における熱拡散率、比熱、および試料密度から熱伝導率を算出した。

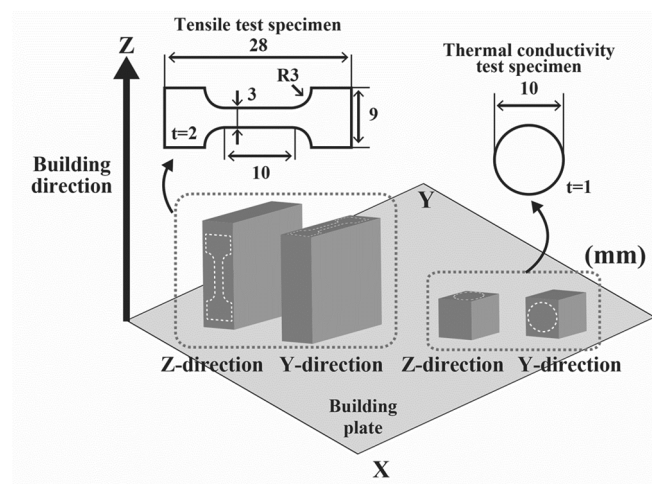


図 1 引張試験と熱伝導率測定用試料の配置と形状

3. 実験結果および考察

図 2 に作製したタングステンの引張試験の結果を示す。図中の E_d はレーザー照射条件から算出されるレーザーの投入エネルギー密度を示している。Z 方向の最大引張応力は約 220~250 MPa を示した。圧延 W の最大引張応力は約 400~500 MPa であることから、3D プリンタで作製したタングステンは半分程度の強度を示したことになる。一

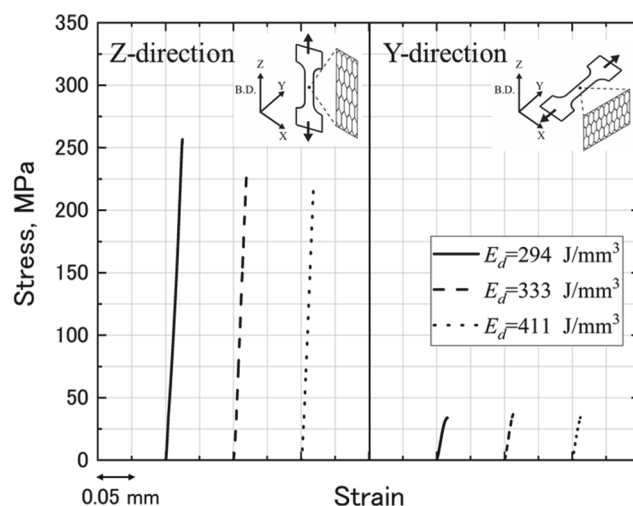


図 2 タングステン造形体の応力歪曲線

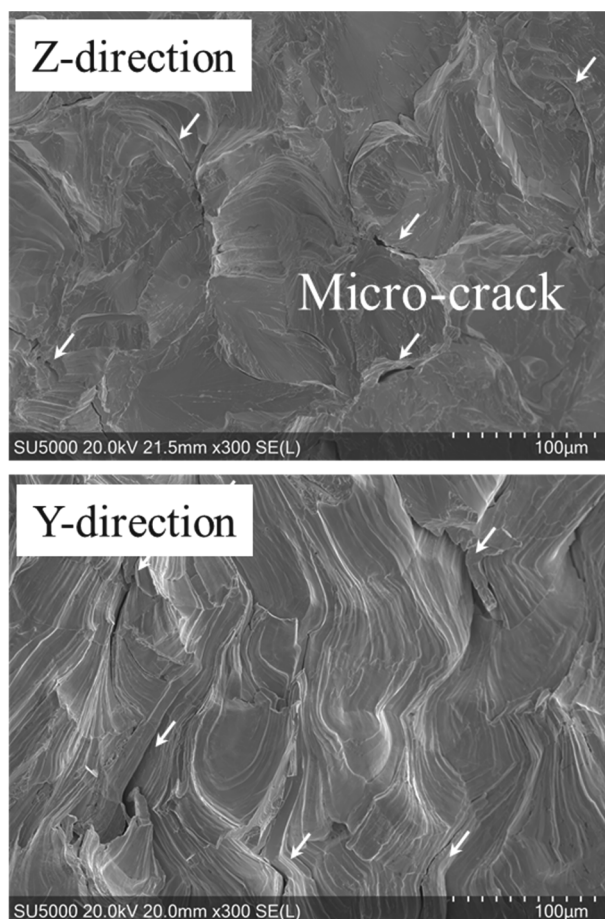


図3 引張試験後の破面のSEM像

方で、Y方向は約30~40MPaを示し、ほとんど強度を示さなかった。また、エネルギー密度による顕著な差は認められなかった。図3に、引張試験後の破面観察結果を示す。破面には、結晶粒界の剥離とマイクロクラックの形成が認められ、Z方向の破面は部分的にへき開破面を呈していた。一方、Y方向では剥離の痕跡が鮮明に観察された。この破面の違いが、造形方向により強度差を示した要因であり、これは材料中のZ方向に伸長した異方的な金属組織に起因して生じたと考えられる。図4に熱伝導率測定の結果を示す。引張試験の結果と同様に、Y方向と

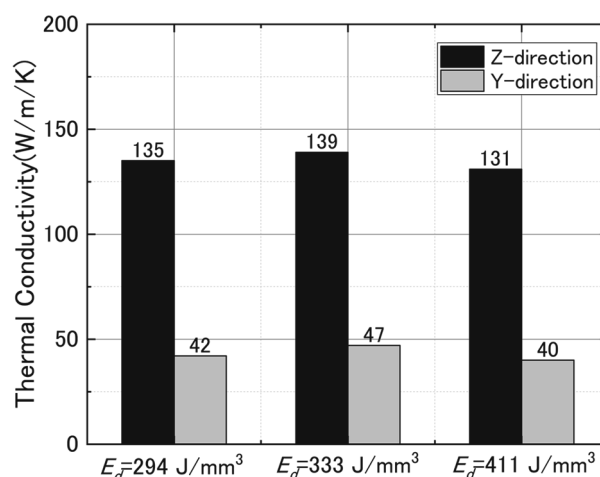


図4 熱伝導率測定の結果

比較してZ方向の熱伝導率は高い結果となった。異方性を示したのは、Z方向に沿って形成されたマイクロクラックが熱抵抗となったためと推察される。また、エネルギー密度の可変による熱特性の改善は困難であった。

以上の結果より、最大引張応力と熱伝導率は異方性を示し、これは材料中のマイクロクラックが主要因であることが示された。クラックを抑制し、材料特性を改善するための材料設計が今後の課題である。

4. 結言

金属3Dプリンタで作製した純タングステンにおける機械的特性と熱特性の異方性を評価した。クラックに起因する特性劣化と異方性の発現が認められ、これらを改善するための材料設計の必要性が示された。

【参考文献】

- 1) 山本 他, 富山県産業技術研究開発センター研究報告, No.33 (2019) pp. 20-21

【謝辞】

本研究で使用した純タングステン粉末は、アライドマテリアル社から提供されたものである。ここに敬意を表す。

キーワード：金属3Dプリンティング、Additive Manufacturing、純タングステン、異方性

Metal 3D Printing Technology Using W-based Material to Control Anisotropic Characteristics

Digital Manufacturing Section; Takafumi YAMAMOTO, Kiyokazu HIMI

The mechanical and thermal characteristics of pure tungsten fabricated by metal 3D printing were investigated, focusing on anisotropy. As a result, the degradation and the anisotropy of the performances was observed as compared with hot rolled tungsten. In terms of anisotropy, the maximum tensile stress and thermal conductivity in the Z direction showed better performance than those in the Y direction. This is due to microstructure oriented in the building direction formed by directional solidification and cracks caused at a grain boundary. Thus, a material design for improving the material properties is required.