

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、高熱伝導、低熱膨張率、高温域における高強度等、他の金属には無い優れた材料特性を有する。これらの特徴から、W は工業的に特殊な用途で利用されるが、最近では核融合炉のプラズマ対向材料(ダイバータ)の素材候補としても有力視されている。これは、上記の特性に加えて、W が核融合炉のプラズマ/中性子照射環境下で優位な特性を有するためである。本研究では、W 材料の新たな加工技術として、レーザ積層造形(Laser powder bed fusion; LPBF)の適用を検討した。これまでの実験で、タングステンレニウム(W-Re)混合粉末から高密度な造形体を得るための製造条件を確立し、Re 添加にはクラックの抑制効果があることを新たに見出した。本稿では、核融合炉環境下で特に重要な高温領域を含む熱特性の評価結果を中心に記す。

2. W-Re 造形体の熱拡散率と温度の関係

純 W の粉末と W-1%Re、W-3%Re、W-10%Re (mass%) の3種の混合粉末を用いて、LPBF で直径5 mm、厚み1 mm の円板試料を作製し、熱拡散率測定のための試料とした。この測定には、NETZSCH Japan 社が保有する高温卓上型キセノンフラッシュアナライザー(LFA467HT HyperFlash)を使用した。測定試料は、造形方向と熱流束の方向が平行関係にある試料と垂直関係にある試料の2種類である。

Fig. 1 に、各試料の熱拡散率測定の結果を示す。各温度での熱拡散率は、Re 濃度の増加に伴い低下した。熱伝導は電子伝導とフォノン伝導の寄与の総量によって決まるが、上述の現象は、Re 固溶に伴う電子とフォノンの散乱によって両者の寄与が減少したことに起因する。熱拡散率の温度依存性に着目すると、Fig. 1(a)の熱拡散率 D_z は純 W、W-1%Re、W-3%Re では温度上昇に伴い減少したが、W-10%Re では反対に増加するという逆の傾向が認められた。これは、電子伝導の温度依存性が関係した現象であるが、詳細は文献 [1] を参照されたい。Fig. 1(a)には、従来工法による W 板材の熱拡散率 [2] と温度の関係を併記したが、純 W と W-10%Re とともに LPBF 材の熱拡散率の方が低かった。この減少は、LPBF 材特有の内部欠陥、特に熱伝導を阻害するクラックの存在に起因する。造形方向と熱拡散率の方向関係は、Fig. 1(b)で示した造形方向に対して鉛直関係にある場合の熱拡散率 D_{xy} の方が全体的

に小さいが、これは造形方向に沿って伸長したクラックによる熱遮断の影響が相対的に強く現れたためである。しかしながら、W-10%Re では 500 °C 以上の高温域で他を凌駕する熱拡散率が得られた。熱拡散率の改善は、Re 添加によるクラックの抑制効果と逆の温度依存性の相乗効果によって発現したものである。故に、超高温の核融合炉環境下において、LPBF での Re 添加が徐熱性能の改善に資する可能性を示すことができた。

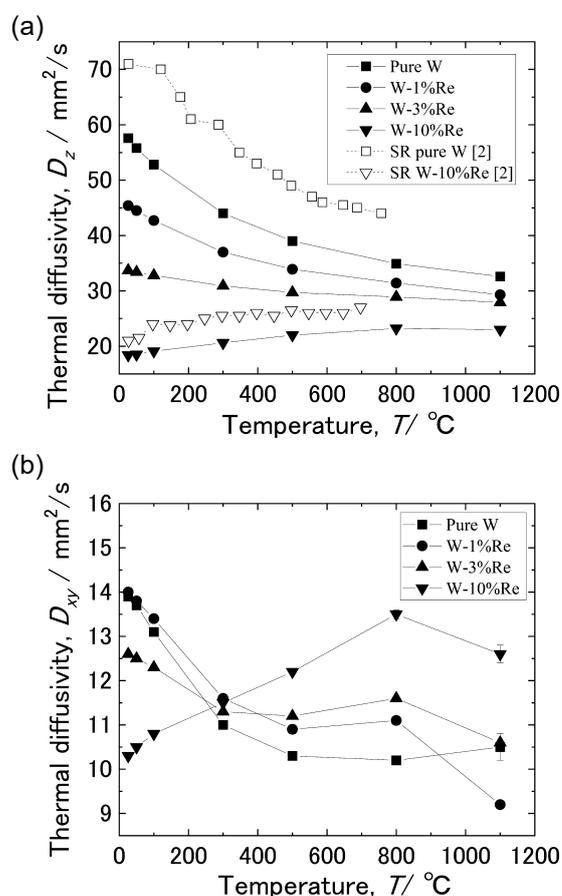


Fig.1 熱拡散率の温度依存性; (a)鉛直方向、(b)水平方向 (SR は歪取り焼鈍を施した板材を示す)

参考文献

- 1) T. Yamamoto et al., Int. J. Refract. Metals Hard Mater. 100 (2021) 105651.
- 2) M. Fujitsuka et al., J. Nucl. Mater. 283–287 (2000) 1148–1151.

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。