

核融合炉遮蔽材適用に向けたホウ化タングステンサーメットの開発

Development of Tungsten Boride Cermet for Radiation Shielding Material in Fusion Reactor

*山村 海爾¹、荻野 靖之¹、陣場 優貴¹、余 浩¹、近藤 創介¹、笠田 竜太¹

¹東北大学

抄録

核融合炉の放射線遮蔽材として期待されているホウ化タングステン (WB) は、難焼結性・低熱伝導性・低破壊靱性のため、構造材として使用しにくい問題がある。Cu を添加した WB-Cu サーメットは、遮蔽性能は低下するが、焼結性・熱伝導性・破壊靱性の改善が確認された。

キーワード：放射線遮蔽，ホウ化タングステン，炉材料

本文

球状トカマクは、中心にある超伝導コイルを放射線から防護するための遮蔽材を設置する領域が限られる問題がある[1]。ホウ化タングステン (WB)、特に W_2B_5 は既存の遮蔽材に比べ、中性子・ γ 線遮蔽性能が高い[2]ことから、球状トカマクの遮蔽材として期待されている。しかし、WB は高い融点と共有結合性により焼結性が悪く、緻密な焼結体を得るためには、2000 °C以上でのホットプレスが必要になる[3]。また、WB の伝熱性・破壊靱性は低いため、構造材として使用するためには、これらの改善が必要である。本研究では、低融点、高熱伝導、延性材料である Cu を焼結助剤として添加した WB-Cu サーメットを作製し、WB の遮蔽性能、焼結性、伝熱性、破壊靱性への影響を明らかにする。

サーメットは、 W_2B_5 の組成で作製した WB 粉末に Cu 粉末を添加し、パルス通電焼結 (PECS)、1300 ~ 1500 °C、15 min の焼結条件で、WB-10wt.%Cu サーメットを作製した。参照試料として Cu 助剤添加なしの WB 単相試料は、ホットプレス (HP)、1900 °C、50 MPa、3 h の焼結条件で作製した。得られた各焼結体の試料 (ϕ 10 mm、厚さ 2 mm) について、密度をアルキメデス法、熱拡散率を Xe フラッシュ法にて測定した。ビッカース硬さ試験で発生した試料表面の亀裂長さとナノインデンテーションによる押し込み弾性率から破壊靱性値の算出をした。放射線遮蔽性能は、粒子輸送計算コード PHITS を用いて解析した。

X 線回折 (XRD) と電子プローブマイクロアナライザ (EPMA) によりサーメットには WB_2 相、Cu 相および未反応の B 相が存在することが分かった。相対密度は 92.4%、熱拡散率は $16.2 \text{ W}\cdot\text{k/m}$ 、破壊靱性は $10.5 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ であり、Cu 助剤添加なしの試料に比べ相対密度、熱拡散率、破壊靱性はそれぞれ 1.03 倍、1.17 倍、1.46 倍に向上していた。サーメット化による特性向上は、WB 粒界に Cu 相が連続的に形成したため[5][6]であると考えられる。一方、PHITS による計算結果から、厚さを 50 cm としたとき WB-10wt.%Cu サーメットの遮蔽性能は Cu 助剤添加なしの試料に比べ、0.84 倍に低下することが分かった。Cu 添加による遮蔽性能の低下と材料特性の向上はトレードオフの関係にあるため、遮蔽性能要求を考慮した材料設計が可能となるように、Cu 添加量依存性についても今後明らかにする必要がある。

参考文献

- [1] Y. Ono, et al., J. Plasma Fusion Res. 80 (11) (2004) 919-920.
- [2] Y. Ogino, et al. 21th. ICFRM. (2023).
- [3] M. S. Koval'chenko, et al., Poder Metall Met Ceram. 14(6)(1975) 469-473.
- [4] A. Yang et al., App, Phys A. (2022).
- [5] T. Maruyama, et al., Jour Nucl Sci Tech. 36(4)(1999) 380-385.
- [6] H. Kitahara, et al., J. Japan Inst. Metals. 66(11)(2002) 1116-1121.

*Kaiji Yamamura¹, Yasuyuki Ogino¹, Yuki Jimba¹, Hao Yu¹, Sosuke Kondo¹ and Ryuta Kasada¹

¹Tohoku Univ.