

先進的ロウ付け接合法によるW/ODS-Cuダイバータコンポーネントの開発 Development of Divertor Component with W and ODS-Cu by Advanced Bonding Technique

時谷政行¹, 浜地志憲¹, 平岡 裕², 増崎 貴¹, 田村 仁¹, 能登裕之¹,
田中照也¹, 室賀健夫¹, 相良明男¹, FFHR設計グループ¹
M. Tokitani¹, Y. Hamaji¹, Y. Hiraoka², S. Masuzaki¹, H. Tamura¹, H. Noto¹,
T. Tanaka¹, T. Muroga¹, A. Sagara¹ and FFHR Design Group¹

¹ 核融合科学研究所, ² 岡山理科大学

¹ National Institute for Fusion Science, ² Okayama University of Science

酸化物分散強化型銅合金(ODS-Cu), 具体的にはGlidCop®(Cu-0.3wt%Al₂O₃)をダイバータヒートシンク材料, タングステン(W)をそのアーマ材料とし, 両材料を熱応力緩和のための中間材無しで強靱に接合できる技術を開発した.

核融合炉のダイバータヒートシンク材料は10 MW/m²以上の熱負流束を除熱する必要があるため, 低放射化フェライト鋼では内部温度勾配に伴う熱応力が降伏強度を超えてしまい, 熱設計として成り立たない[1]. 一方で, 近年のFFHR-d1やトカマクDEMO炉の設計では, ダイバータの中性子束を抑える工夫によって熱伝導率の高い銅合金が使用できる可能性が出てきた. 考え得る銅合金には, ITERのダイバータヒートシンク(パイプ)に使用されているCuCrZrに代表される析出強化型銅合金(PH-Cu), GlidCop®に代表される酸化物分散強化型銅合金(ODS-Cu)がある. GlidCop®は, 250℃で~2.5dpa程の照射を受けた場合に破壊靱性値が低くなることが懸念され, ITERでの採用は見送られたが[2], 中性子負荷設計の工夫によりダイバータヒートシンク材料への採用は大いに可能である. GlidCop®は, 本来の強度がCuCrZrよりも高いだけでなく, たとえ融点近傍(約1000℃)まで温度上昇したとしても, 温度が下がれば元の強度が維持される特性を有している. この特性は, ダイバータの安全性確保だけでなく, Wとのロウ付け(ろう付)熱処理時の最終冷却速度を極限まで遅くでき, 望まれない熱歪の影響を極力排除できるという利点に繋がる. 本研究では

BNi-6(Ni-11%P)ろう材を使用したろう付熱処理方法を最適化し, 靱性を有するW/BNi-6/GlidCop®ろう付接合部(接合継手)の生成に中間材無しで成功した. 図1は接合継手の3点曲げ試験による応力-歪み曲線である. 複数の試験片で200MPa以上の継手強度と明らかな降伏点を確認することができ, 接合継手が靱性を有していることがわかる. 常識的に考えて, ろう付接合部は脆性であり, 変形することは難しいが, それを覆す驚くべき結果である. この靱性がWとGlidCop®の熱膨張係数の差を吸収することで, 強靱な接合部が維持されていると考えられる. この性質は, 熱伝導率の確保や製造コストの削減などの観点で大きな利点である. 同方法によって図2-(a)に示す小型のダイバータ試験体の製造に成功し, 核融合科学研究所設置の電子ビーム熱負荷試験装置(ACT2)を用いて定常熱負荷試験を行った. その結果, 図2-(b)に示すように, 核融合炉条件に近い15MW/m²の熱負荷においても表面直下のW内部の温度上昇は650℃程度に抑えられ, 高い除熱性能が証明された.

[1] M. Tokitani et al., Plasma Fusion Res. 10 (2015) 3405035.
[2] G. Kalinin, R. Matera, J. Nucl. Mater. 258-263 (1998) 345

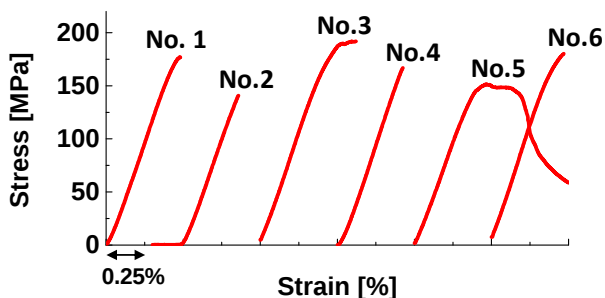


図 1. (a) W/BNi-6/GlidCop®ろう付接合部の曲げ試験による強度特性

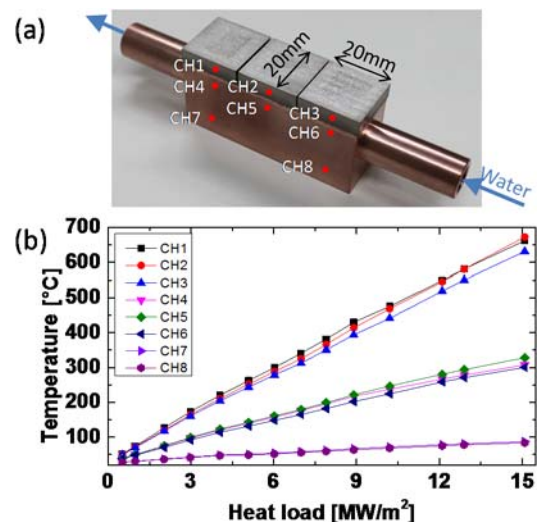


図 2. (a) W/BNi-6/GlidCop®小型モックアップと (b)モックアップへの熱負荷試験時の温度分布