

先進的ろう付接合法によるW/ODS-Cuダイバータ受熱機器の開発 ～接合部の変形・破断挙動および大型ダイバータ受熱機器の製造～

Development of the W/ODS-Cu Divertor Component by the Advanced Brazing Technique
~Deformation and Fracture Behavior of the Joint and Fabrication of the Large Scale Divertor Components~

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

これまでに, BNi-6(Ni-11%P)ろう材を使用し, タングステン(W)と酸化物分散強化銅(ODS-Cu)の GlidCop[®]との直接接合法「先進的ろう付接合法」を開発し, その接合部(W/GlidCop[®])は靱性を有する優れた機械的特性を示すことを確認している[1]. また, 本接合法を用いて製造された小型のダイバータ受熱機器試験体において, 優れた除熱性能も確認された[1].

本報告では, W/GlidCop[®]接合部の硬さ試験及び3点曲げ試験後の破断部の観察により, 接合部がどのように変形し, 破断に至るのかについて, その挙動を明らかにすると同時に, 靱性を獲得できた要因を考察する. また, 本接合法による大型ダイバータ受熱機器試験体の製造についても紹介する.

図1に, 3点曲げ試験において降伏点を示した後に破断したNo. 3, 6の両試験片の接合界面近傍の走査型電子顕微鏡(SEM)像を示す. 本研究で用いた曲げ試験機は, 負荷荷重がある値以上急激に減少した場合, 停止する. 図1は, クラックが発生した後, それが巨視的に伝播した試験片を示すものである. また, 強制破断後に別途行った代表的な破断面観察箇所が図1のNo. 6試験片上に破線で囲んだ領域に対応する. 結果として, クラックの開始点は全て接合界面に近いW内部であり, 破壊モードとしては脆性破壊に分類されることが明らかになった. 発生したクラックはその後, Wの粒界及び粒内を伝播するが, その伝播方向は様々であり, 大部分は接合界面に極近いW内部で伝播が停止していることを確認した. つまり, 接合界面の強度はWバルク材と比較し得るほど高く, 十分な接合強度を有している事がわかる.

一方, W内部は脆性的に破壊されているにもかかわらず, 接合部が靱性を有する理由を考察するために, 接合界面近傍の硬さ試験を行った.

その結果を図2に示す. W側の硬さは, 接合に伴う有意な変化は認められない. 一方で, GlidCop[®]側には, 接合界面から100~700 μ mの領域で100HV程度まで柔らかくなっている領域が存在する. 3点曲げ試験では, この領域が優先的に変形する事で靱性を示し, その後, もしくは同時に, W内部で破断が発生した可能性が考えられる.

講演では, 大型ダイバータ受熱機器試験体の実物写真とその構造についても紹介する.

[1] M. Tokitani et al., Nucl. Fusion 57 (2017) 076009.

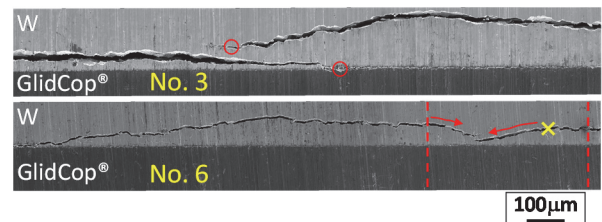


図1. 3点曲げ試験後のW/GlidCop[®]接合界面近傍のSEM像. No. 3, 6は試料の名前であり, それぞれ上側がW, 下側がGlidCop[®]に対応. 矢印および○印は亀裂の伝播方向およびその先頭部, ×印はクラックの発生箇所を示している.

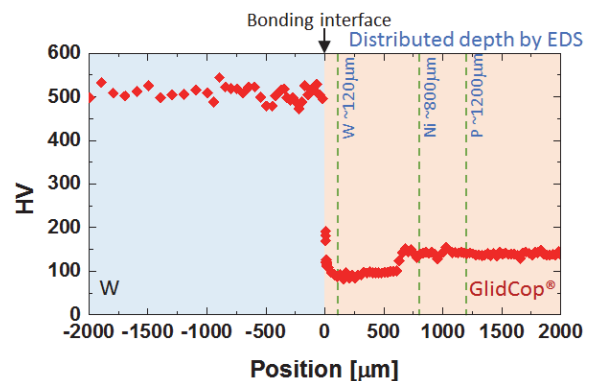


図2. ビッカース硬さ試験によるW/GlidCop[®]接合界面近傍の硬さ(HV)分布. 接合界面(0mm)を中心に左がW側, 右がGlidCop[®]側. 組成分析により測定したW, Ni, Pの最大分布深さを破線で示す.