

二段階接合法による W と RAFM 鋼の接合技術開発

Fabrication of W/RAFM steel joint by combined joint method

*山下 東洋¹, 時谷 政行^{1,2}, 能登 裕之^{1,2}, 浜地 志憲^{1,2}, 申 晶潔^{1,2}, 増崎 貴^{1,2},
室賀 健夫^{1,2}, 野澤 貴史³, 谷川 博康³
¹総研大, ²核融合研, ³QST

原型炉ダイバータ受熱機器の中で比較的熱負荷量が低い領域であるバッフル及びドーム構造部に向けたタングステン(W)と低放射化フェライト鋼(RAFM 鋼)の接合技術として、両材料に中間緩衝材を介して二回の熱処理で接合する「二段階接合法」を開発した。

キーワード: ダイバータ, タングステン, RAFM 鋼, ろう付接合, 拡散接合

1. 緒言

原型炉のダイバータ受熱機器では、タングステン(W)製アーマーと低放射化フェライト鋼(RAFM 鋼)製パイプの接合構造がそのバッフル及びドーム構造部に適用される予定である [1]。両材料は熱膨張係数が異なるため、接合熱処理後の接合界面近傍に生じる残留応力の緩和が課題である。同緩和手段として W と RAFM 鋼の間に中間緩衝材を導入する接合構造(W/中間緩衝材/RAFM 鋼)が一般的に考えられている。これまでも同構造を基にした接合技術開発が進められたが[2]、多くの場合 RAFM 鋼内のフェライト/マルテンサイト組織が変質する温度 (約 738°C) 以上での熱処理が採用されており、RAFM 鋼の組織変質が問題となっている。そこで本研究では、残留応力の緩和に有利である純銅(Cu)を中間緩衝材に採用し、一段階目に W と Cu の接合熱処理を 900°C 程度の高温で実施し、二段階目に残りの Cu 面と RAFM 鋼を 730°C 以下の温度で接合する、という二段階接合法を考案・実施した。製作された W/Cu/RAFM 鋼接合構造に対して接合状態や RAFM 鋼内の組織変化について評価を行った。

2. 実験方法

2-1. 二段階接合法による接合試験体の試作

Cu/RAFM 鋼の接合では、単純な拡散接合において 730°C 以下の熱処理温度が理想であるが、同温度では拡散接合の観点から見ると低温であるため、まずは僅かに高めの 800°C の温度において拡散接合が可能かどうかの検証を目指した。そこで、一段階目に W と Cu を Ni-P 系ろう材を用いて 960°C の熱処理温度で接合させ、同試験体の残りの Cu 面と RAFM 鋼(JLF-1)に 800°C、20MPa、1 時間の条件による拡散接合を実施した。

2-2. 720°C での Cu と RAFM 鋼の拡散接合実験

730°C 以下の熱処理温度において Cu/RAFM 鋼の拡散接合が可能であるのかどうかを検証するために、720°C、40MPa、1 時間の条件において Cu と RAFM 鋼(F82H 鋼)の拡散接合を行った。

2-3. 透過型電子顕微鏡(TEM)による組織観察

接合界面の状態および RAFM 鋼の組織変化を観察する目的で、接合界面の TEM 観察を実施した。

2-4. 実験結果及び考察

2-1. の接合実験における W/Cu のろう付接合部は、過去にも実施した接合実験 [2] と同様の接手法であるため、本予稿では、2-1. 及び 2-2. の Cu/RAFM 鋼の拡散接合結果について述べる。図 1 と 2 に、それぞれ 800°C、720°C での拡散接合後の Cu/RAFM 鋼接合界面の TEM 明視野像を示す。明視野像中に赤枠で囲んだ領域における元素マッピング像も同時に示している。800°C の場合には、接合界面の Cu 側に高密度キャビティや歪み場が確認できるが、720°C ではそのような欠陥構造は確認できないだけでなく、ナノレベルで緻密な接合界面であることがわかる。さらに、Cr のマッピング像を比較すると、800°C の場合には析出物の粗大化が確認できるが、720°C では逆に均一分散していることが確認できる。おそらく、これら Cr の分布は、Cr を主とする炭化物である(M₂₃C₆ [3])と考えられることから、720°C の場合には熱処理による RAFM 鋼の組織変質が抑えられていると判断できる。RAFM 鋼の組織変質の差の要因は熱処理温度によるものであると考えられるが、先に述べた高密度キャビティや歪み場等の欠陥構造の差が生じる要因は熱処理温度の差だけでは説明できない。現時点で推察される要因は、接合界面の清浄度等が挙げられるが、詳細については今後さらなる実験的検証が必要である。

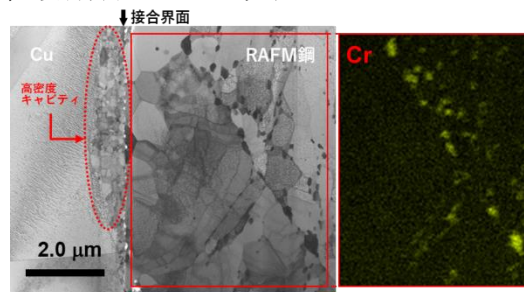


図 1. 2-1. の接合実験の Cu/RAFM 鋼接合部における TEM 明視野像および Cr の元素マッピング像

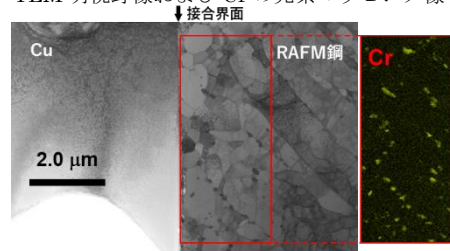


図 2. 2-2. の接合実験の Cu/RAFM 鋼接合部における TEM 明視野像および Cr の元素マッピング像

3. 結論

720°C の拡散接合を用いることで、Cu/RAFM 鋼の接合に関しては理想的に近い接合界面が得られることを示した。今後は同接合界面が得られた物理的なメカニズムを検証すると同時に、同接合条件を用いて製作した接合試験体の熱処理試験を行う予定である。

参考文献

- [1] N. Asakura, et al., Nucl. Fusion 57 (2017), 126050.
- [2] T. Yamashita, et al., Fusion Eng. Des. 170 (2021), 112687.
- [3] M. Souissi, et al., Scientific Reports, 2018, DOI:10.1038/s41598-018-25642-y.

*Toyo Yamashita¹, Masayuki Tokitani^{1,2}, Hiroyuki Noto^{1,2}, Yukinori Hamaji^{1,2}, Jingjie Shen^{1,2}, Suguru Masuzaki^{1,2},
Takeo Muroga^{1,2}, Takashi Nozawa³, Hiroyasu Tanigawa³
¹SOKENDAI, ²NIFS, ³QST.