

液体ブランケット異材接合部の増殖/冷却材との共存性研究 Chemical compatibility of dissimilar-metal joint in liquid breeders

近藤正聡¹、長坂琢也²、宮川幸大¹、畑山奨¹

Masatoshi Kondo¹, Takuya Nagasaka², Yukihiro Miyakawa¹, Susumu Hatakeyama¹

¹東京工業大学、²核融合科学研究所

¹Tokyo Tech, ²NIFS

1. 緒言 核融合原型炉開発に向けたアクションプランでは、液体増殖材方式の原型炉テストブランケットモジュール(TBM)を模倣するモックアップ機能実証試験を2025年から実施する計画となっている。原型炉TBMループやそのモックアップを製作する上で、低放射化材料と一般構造材料の異材溶接部が発生する。溶接個所における溶接金属部や熱影響部では、鋼材組成の分布や特殊な微細金属組織が形成される事により、液体増殖材特有の腐食が局所的に進行してしまう可能性が高い。原型炉TBMの積算運転時間は3年以内程度と想定される。

本研究の目的は、原型炉TBM運転終了間際の異材溶接部の健全性を検討する際に参考となる腐食試験データを獲得する事である。溶接部のような特殊な材料組織に対して敏感な腐食性を有する鉛リチウム合金(LiPb)とフッ化物溶融塩フリナック(FLiNaK)を対象とし、低放射化材料と一般構造材料による異材接合材から切り出した試験片を用いて5000時間以上の長期の腐食試験を実施する。

2. 試験材料 液体ブランケットの候補炉内構造材料である低放射化フェライト鋼(RAFM)やバナジウム合金に加え、溶融塩に対して特に優れた耐食性を示す Hastelloy X (HX)、更には炉外機器の一般構造材料として使用される事が想定される 316L ステンレス鋼を対象とし、これまでの接合試験実績を踏まえて異材接合材(及び共材接合材)を電子ビーム溶接(Electron beam welding: EBW)とティグ(Tungsten inert gas: TIG)溶接により製作した。低放射化フェライト鋼には JLF-1 (JOYO-HEAT)、バナジウム合金には NIFS-HEAT2 を用いた。共材接合材は、試験片の上にビードオンプレート(Bead on plate: BOP)溶接をする事により作成した。作製した異材接合材及び共材接合材から、17mm×6mm×2.86mmの短冊状試験片を切り出して腐食試験に使用した。

EBWやTIG溶接により製作した異材接合材と共材接合材、材料母材の試験片断面に対して、研磨・湿

式エッチング処理を行い電子顕微鏡により観察した。王水(硝酸25%+塩酸75%)を用いてエッチング処理(室温、20秒)を実施した。

Fig. 1に316LとJLF-1のEBW試験片の断面組織SEM像とEDX分析の結果を示す。約600 μm の厚さの溶融部(Fusion zone: FZ)が観察された。この溶融部には、同心円状に微細な組織が連続しており、その化学的な組成は316Lに近く、JLF1側に向けて傾斜がある事がわかった。これは、溶接時の電子ビーム位置を316L側にシフトしている為であると考えられる。また、JLF-1側には、母材部よりも微細な組織を有する熱影響部(Heat affected zone: HAZ)と思われる領域が約300 μm の厚さで観察された。316L側では溶融部付近でも母材と同様のオーステナイト組織が観察された。

Fig. 2にEBWのBOPにより作製したJLF-1の共材接合試験片の微細組織観察の結果を示す。溶融部と熱影響部の微細組織は母材部よりも緻密である事が分かった。また、ところどころにクラックが生じている事がわかった。 Hastelloy の共材接合試験片においても溶融部の微細組織が母材よりも緻密である事が確認されている。

3. 腐食試験 液体ブランケットループの異材溶接部の健全性を評価するためには、ブランケットを模した温度勾配のある強制流動ループを用いた共存性試験を実施する事が理想的である。しかし、一定純度条件を保持しながら長期にわたり連続運転をする事が難しい。本研究では、流れの効果を含めた共存性評価手法として実績がある攪拌流動場試験装置を用いて腐食試験を実施した。

2021年10月にLiPbとFLiNaKの5,000時間試験が完了し、現在は10,000時間試験の開始を準備しているところである。腐食試験が完了した試験片に関しては、溶融部や熱影響部の微細組織の腐食特性と母材部の腐食特性を評価して比較し、接合箇所の腐食特性の特殊性を明らかにする計画である。

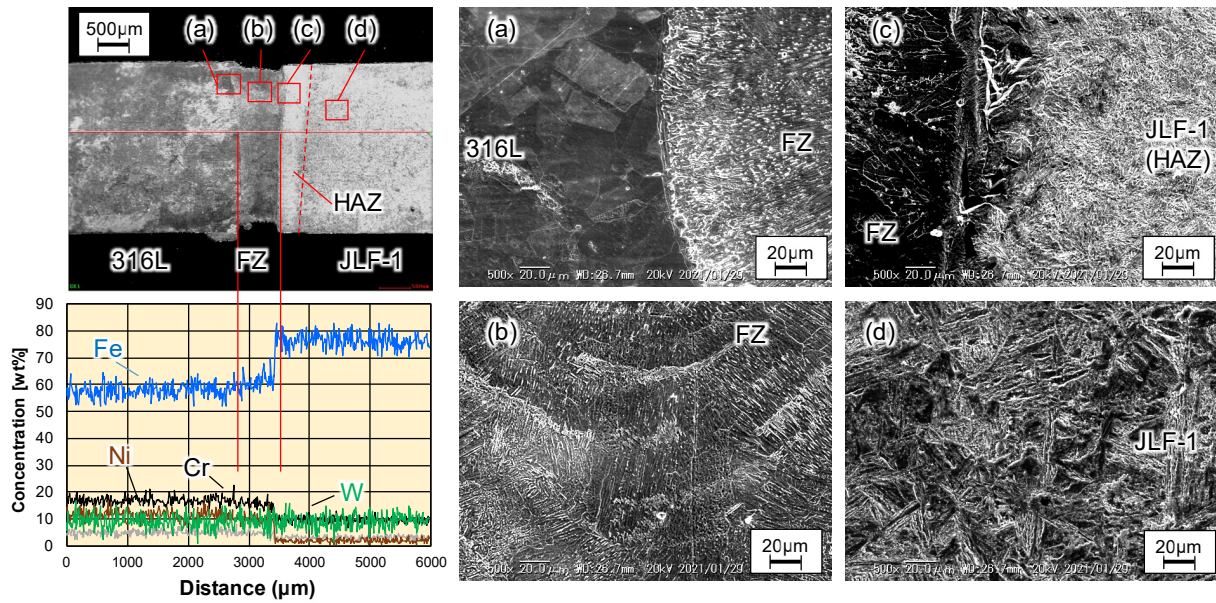


Fig. 1 316L/JLF-1 の EBW 試験片の断面組織 SEM/EDX 分析の結果 (エッチング処理: 王水 20 秒)、
 (a) 316L 側の溶融部周辺の微細組織の SEM 像、(b) 溶融部の微細組織の SEM 像、(c) JLF-1 側の溶融部
 周辺の微細組織の SEM 像、(d) 母材の微細組織

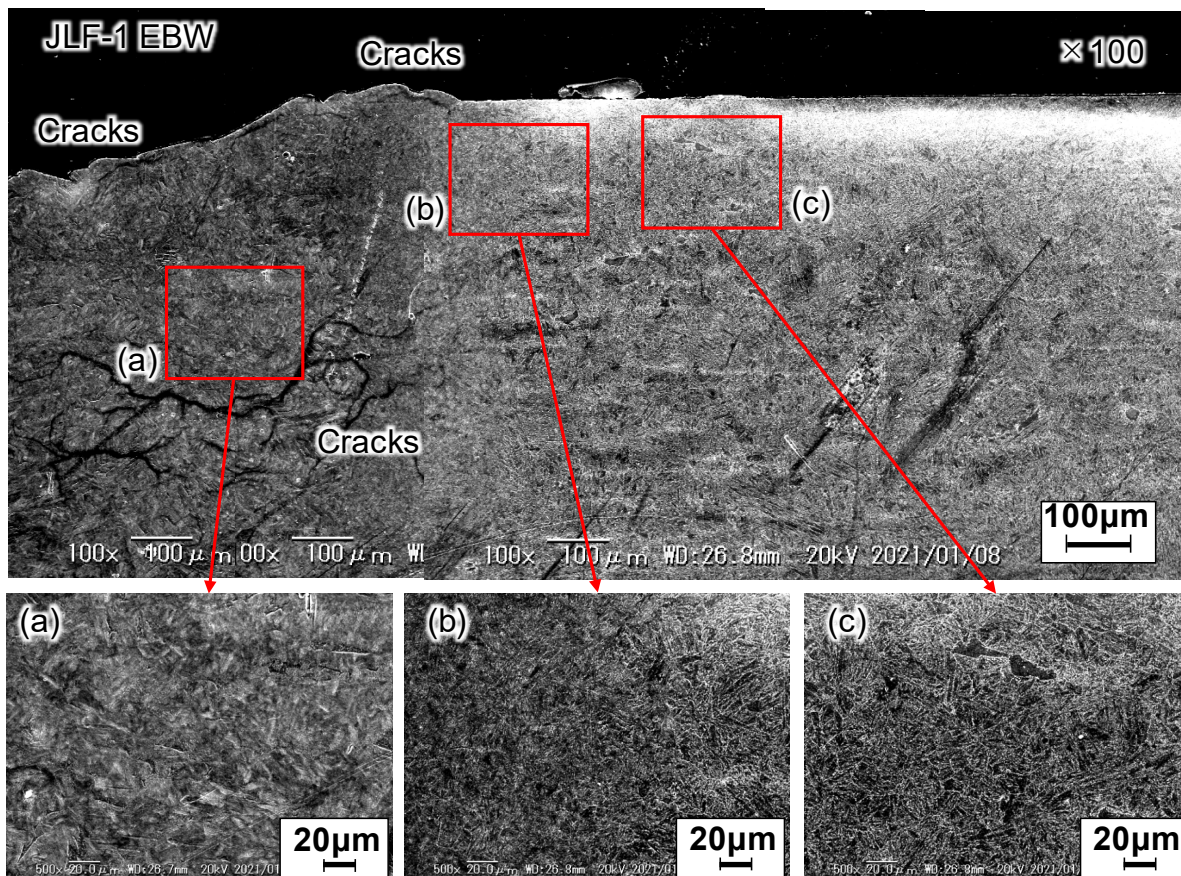


Fig. 2 JLF-1 共材接合試験片の EBW 試験片の断面組織 SEM/EDX 分析の結果 (エッチング処理: 王水 20 秒)、
 (a) 溶接金属部の溶融部 SEM 像、(b) 熱影響部周辺の微細組織 SEM 像、(c) 母材部の微細組織 SEM
 像