

液体金属環境下で自己形成・修復する機能性被覆に関する研究
Experimental study on self-healing functional layer in liquid metals

近藤正聡¹, 鈴木成実¹, 田中照也², 室賀健夫²
Masatoshi KONDO¹, Narumi SUZUKI¹, Teruya TANAKA², Takeo MUORGA²
東海大原子力¹, 核融合研²
Tokai University¹, NIFS²

1. 緒言 核融合炉の液体増殖材として鉛リチウム(Pb-17Li)合金が検討されているが、それに合わせて機能性被覆(構造材料の耐食性改善、MHD圧損抑制のための電気絶縁、トリチウム透過防止等の機能)の開発が進められている。著者らは、ブランケットの長期間連続運転を可能にするために、メンテナンスが必要最低限のプロセスで済むような自己修復型機能性被覆を提案している。予めエルビウム(Er)やイットリウム(Y)などの金属で構造材料の接液面を覆い、液体金属中において形成される酸化被膜(Er_2O_3 や Y_2O_3)を機能性被覆として機能させる。そのため、表層の酸化被膜にクラックが入ったり剥離したりした場合にも、その直下にある基盤が直ぐに酸化されるため、自然に被膜が修復される。しかしErやY等が液体金属中で形成する酸化被膜の機能性材料としての性能については情報が限られている。その性能評価には酸化した金属表面の状態を液体金属に接液したままの状態ですべてオンライン評価する方法が必要である。そこで、本研究では電気化学インピーダンス測定法を応用し、液体金属場で材料表面に形成される酸化物の性能をその場測定により評価する手法を開発した。溶存酸素濃度管理が比較的容易である液体鉛(Pb)中に、エルビウムやイットリウム等の試験片を浸漬し、表面に形成される腐食生成物の成長挙動をその場測定により評価した。

2. 実験条件 図1に実験装置を示す。イットリウムとエルビウムの丸棒($\Phi 6.35\text{mm}$)を試験片として用いた。30 ccの鉛を溶融させた状態で試験片を浸漬し、 375°C で1841時間(Y)、1266時間(Er)の連続運転を実施した。浸漬した試験片と液体金属の界面の状態を、電気化学インピーダンス計測装置(東陽テクニカ社 VersaSTAT3)を用いて評価した。装置内のカバーガスは空気雰囲気であり、鉛の自由液面に鉛酸化物が十分に存在する事から鉛中の酸素濃度は酸素飽和条件であると仮定した。試験後にEPMAを用いて酸化被膜の状態を評価した。

3. 試験結果・考察 液体金属中で試験片表面に単層の酸化被膜が形成された場合は、図2のような等価回路となる事が想定される。液体金属の抵抗は無視できるため、交流電位の十分に低い周波数領域では、 $Z=R_{\text{oxide film}}$ となり、界面に形成される酸化物の直流抵抗成分を、ナイキストプロットから求める事ができる。得られた直流抵抗成分(Ω)と試験片の接液面積($A[\text{m}^2]$)と接液界面に形成される酸化被膜の膜厚($\tau[\text{m}]$)の関係は、酸化被膜の比抵抗($\rho[\Omega\text{m}]$)とすると、 $R=\rho \frac{\tau}{A}$ で表される。図3にY試験で得られたナイキストプロットを示す。検出された容量性半円は時間と共に大きくなる事が分かった。これは、浸漬開始から時間と共に膜が成長する過程を示唆している。図4にEPMA分析の結果を示す。観察された膜厚は、電気化学測定の結果から予想される膜厚に良く合致した。

4. 結論 高い酸素ポテンシャルを有する溶融鉛中においてイットリウム試験片の表層に形成される酸化被膜のインピーダンスの測定に成功した。またその形成と成長の挙動を電気化学インピーダンス法によりオンラインで評価する事に成功した。

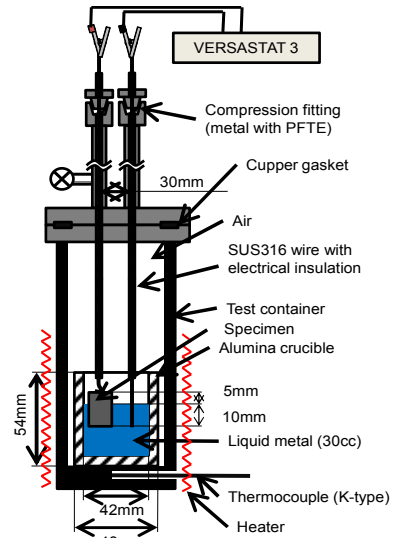


図1 試験装置

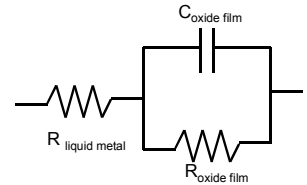


図2 想定される等価回路

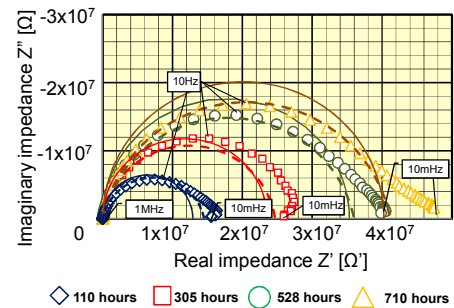


図3 ナイキストプロット(Pb-Y,375°C)

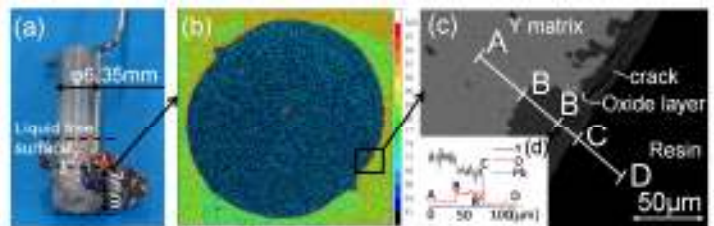


図4 鉛に浸漬したイットリウム試験片の EPMA 分析の結果 (a) 浸漬後の試験片の外観、(b) 断面 EPMA 低倍率、(c) 断面 EPMA 高倍率