

Oral presentation | VI. Fusion Energy Engineering : 601-2 Fusion Reactor Material Science (Reactor and Blanket Materials, Irradiation Behavior)

📅 Thu. Sep 12, 2024 9:30 AM - 10:35 AM JST | Thu. Sep 12, 2024 12:30 AM - 1:35 AM UTC 🏢 Room B(Recture RoomsA 1F A102)

[2B01-04] Lithium

Chair:Shunsuke Kenjo(QST)

9:30 AM - 9:45 AM JST | 12:30 AM - 12:45 AM UTC

[2B01]

Enhancement of ^6Li enrichment performance by asymmetric design of electrodialysis multistage cells

*Keisuke Mukai¹, Kenji Itaka², Kiyoto Shin-mura², Ryo Ito³, Ikuma Takahashi⁴, Kazuya Sasaki² (1. NIFS, 2. Hirosaki Univ., 3. Kyoto Univ., 4. CIT)

9:45 AM - 10:00 AM JST | 12:45 AM - 1:00 AM UTC

[2B02]

Metallurgical study on corrosion of 304 stainless steel accelerated by electromigration in liquid metal pool

*Humam⁻¹, Susumu Hatakeyama¹, Masatoshi Kondo¹ (1. Tokyo Tech)

10:00 AM - 10:15 AM JST | 1:00 AM - 1:15 AM UTC

[2B03]

Study on growth behavior of abnormal oxides in FeCrAl alloy tube machined by WEDM process and mitigation methodology

*Ryuhei Muto¹, Takashi Endo², Masatoshi Kondo¹ (1. Tokyo Tech, 2. Hokkaido univ.)

10:15 AM - 10:30 AM JST | 1:15 AM - 1:30 AM UTC

[2B04]

Study on vanadium alloy corrosion in liquid lithium

*Kazunari Katayama¹, Shota Katayama¹, Yuuka Mori¹, Rio Arakawa¹, Hiroki Isogawa¹, Takuya Nagasaka² (1. Kyushu Univ., 2. NIFS)

10:30 AM - 10:35 AM JST | 1:30 AM - 1:35 AM UTC

Time reserved for Chair

電気透析多段セルの非対称化による⁶Li 同位体濃縮性能の向上

Enhancement of ⁶Li enrichment performance by asymmetric design of electrodialysis multistage cells

*向井啓祐¹、伊高健治²、新村潔人²、伊藤諒³、高橋伊久磨⁴、佐々木一哉²

¹核融合研、²弘前大、³京大、⁴千葉工大

核融合炉では三重水素の炉内生産が想定されているため、固体増殖及び液体増殖のいずれのブランケット方式においても大量の高濃度⁶Liが必要となる。本研究ではマルチステージ電気透析セルのモデリングにより、連続運転可能かつ高効率な濃縮プロセスの検討を行った。

キーワード: 同位体濃縮、リチウム同位体、電気透析法

1. 背景・目的

核融合原型炉1機あたり数十トン規模の⁶Li(⁶Li: 60–90%)が増殖ブランケットの製造時に必要となるため、効率的な濃縮システム設計が必要となる。水銀フリーな濃縮手法として、電気透析法によるリチウム同位体の分離手法の研究がなされているが、スケールアップに向けた多段化方式の最適な構成や運転条件は十分に理解されていない。本研究ではイオン伝導体を用いた電気透析セルを対象に多段化のモデリングを行い、分離係数を向上させる条件を探索した。

2. モデリング

Ohyaらの同符号イオンの分離理論式^[1]を用い、クロス型とストレート型の2種類を検討した。計算では、各シングルセルのヘッド分離係数 β を1.06と仮定し、 n 段(部屋数: $N = 4n + 2$)カスケードの供給流 F と濃縮流 C のLi同位体比からシステム全体のヘッド分離係数 $\omega = (^6\text{Li}/^7\text{Li})_C / (^6\text{Li}/^7\text{Li})_F$ と⁶Liの回収率 r_6 を算出した。

3. 結果

イオン伝導体の面積当たりの電流値を0から40 A/m²に変化させ、 $N = 178$ ($n = 44$ 段)までのカスケードの濃縮性能を調べた。 ω はイオン伝導体の電流値に対して上に凸な関係が得られた。図1に ω の最大値と最大となるときの電流値を示す。ストレート型とクロス型では ω の最大値は同程度であったが、クロス型の方が低い電流値で運用できることが示唆された。一方、 ω の最大値は静的条件のシングルセルの β (入力値)よりも低い値であった。本発表では更に濃縮性能を向上させる運転条件を探索し、その効果について報告する予定である。

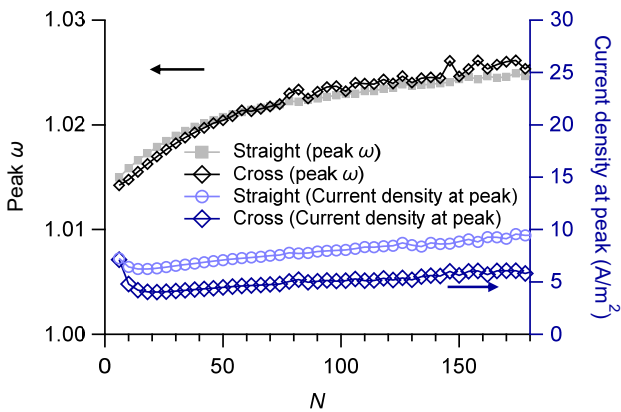


図1 N 室カスケードの ω の最大値(左軸)と ω 最大時の電流値(右軸)の関係

参考文献

[1] H. Ohya et al. *Bull. Soc. Sea Water Sci. Jpn.* 46 (1992) 27–36.

*Keisuke Mukai¹, Kenji Itaka², Kiyoto Shin-mura², Ryo Ito³, Ikuma Takahashi⁴, Kazuya Sasaki²

¹NIFS, ²Hirosaki University, ³Kyoto University, ⁴Chiba Institute of Technology

Metallurgical Study on Corrosion of 304 Stainless Steel Accelerated by Electromigration in Liquid Metal Pool

*Humam¹, Susumu Hatakeyama² and Masatoshi Kondo³

¹Tokyo Tech, School of Environment and Society, ²Tokyo Tech, School of Engineering,

³Tokyo Tech, Institute of Innovative Research.

Electrical current flow in liquid metal pool can accelerate the corrosion of structural materials according to an electromigration phenomenon. The purpose of this study is to clarify the effect of electrical current flow on the chemical compatibility of structural material in a liquid Pb pool. The electromigration test was performed with 304 austenitic steel specimens in liquid Pb pool under electrical current of 10 A. The 304 specimens were analyzed using STEM with EBSD after the corrosion test. The dissolution corrosion was shown to be promoted on the electron-receiving side. The corrosion damage was observed mainly on the bulk area of the grain because of higher electron flow due to its lower electrical resistivity compared to the grain boundaries.

Keywords: Liquid metal, Electromigration, Corrosion, Grain Boundary Dissolution, Precipitation

1. Introduction The flow of electrons and ions in the liquid metal components of fusion reactors may result in electrical current flow. The flow of electrical current in liquid metal pool can cause a mass transport phenomenon called electromigration. The theoretical model on the electromigration had been studied on our previous research [1]. The purpose of the current study is to clarify the effect of electromigration on the material corrosion by metallurgical analysis.

2. Experimental condition The corrosion test of 304 austenitic steel (Fe-18Cr-12Ni) was performed in liquid Pb pool at 773 K for 250 hours. Figure 1 shows the apparatus used to conduct the corrosion test. Two 304 specimens were installed to act as the electron-receiving side and the electron influx side in the crucible. Liquid Pb was filled between the two specimens. Electric current of 10 A was flowed through the specimens. According to the theoretical model, the migration of Pb atoms will be induced along with the electron flow by electromigration.

3. Metallurgical analysis and discussion The specimens were analyzed using SEM/EDX analysis after the corrosion test. Dimple-like patterns and cavities were observed on the surface of the electron-receiving side, indicating dissolution corrosion. EBSD analysis was performed on the electron-receiving side and reveals that the dimple-like patterns are centered on the bulk area of the grain. Grain boundaries have higher electrical resistivity due to higher electron scattering cross-section, resulting in less electron flow along the grain boundaries. The dimple-like patterns are the result of the different electron collisions frequency between the grain bulk area and the grain boundaries. The formation of the cavity was possibly caused by the dissolution of carbides within the material.

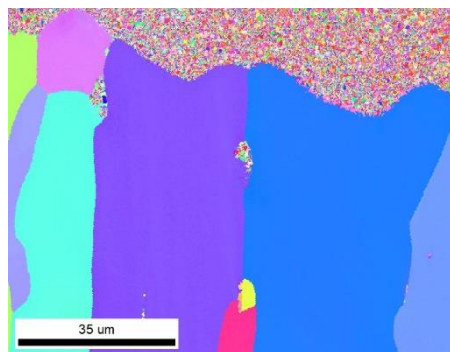


Fig. 3 EBSD map of the electron-receiving side.

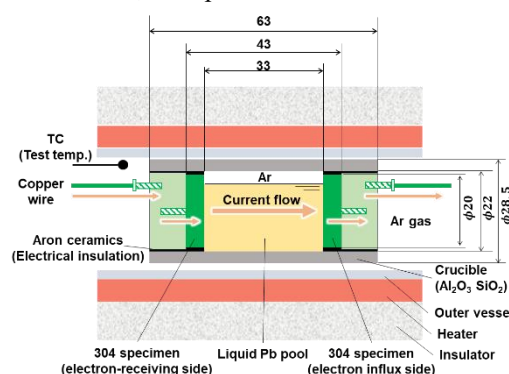


Fig. 1 Apparatus for corrosion test under electric current flow.

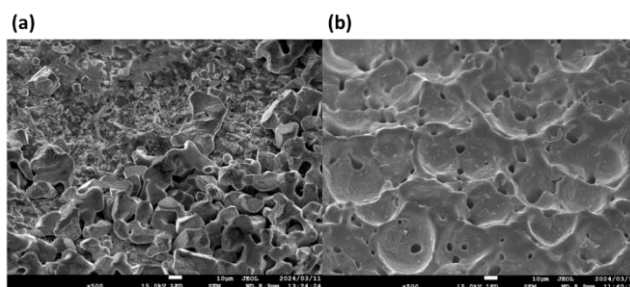


Fig. 2 SEM surface images of 304 specimens, (a) electron influx side and (b) electron-receiving side.

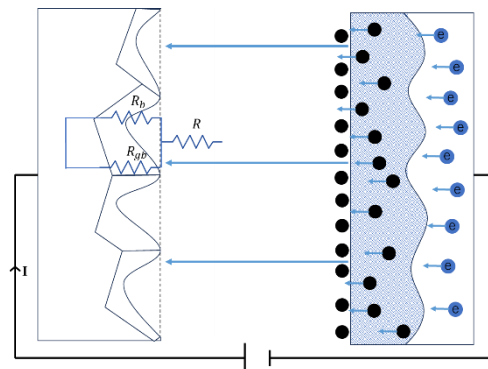


Fig. 4 Illustration of grain boundary electrical circuit during electromigration.

References [1] Humam, Hatakeyama, S., Kondo, M. (2024). Study on Electromigration Behavior in High Temperature Liquid Metal Pool. *AESJ 2024 Spring*. 3G01-05.

ワイヤー放電加工を施した FeCrAl 合金製円管内壁の 異常酸化現象とその抑制方法に関する研究

Study on growth behavior of abnormal oxides in FeCrAl alloy tube machined by WEDM process
and mitigation methodology

*武藤 龍平¹, 遠堂 敬史², 近藤 正聡³

¹ 東京工業大学工学院機械系, ² 北海道大学電子科学研究所,

³ 東京工業大学科学技術創成研究院

FeCrAl 合金 APMT 製の円管をワイヤー放電加工により作製して予備酸化処理を施した。1273 K の大気下における予備酸化処理では、ワイヤー放電カット加工面に α - Al_2O_3 被膜に加えワイヤー放電加工時に使用された真鍮ワイヤーに由来する Cu や Zn 等を含む異常酸化物が局所的に形成された。1373 K の予備酸化処理を施すことにより、異常酸化物形成箇所の下部において Al リッチな酸化物が厚膜化し、十分な保護性や絶縁性を得られることがわかった。

キーワード：核融合炉、液体ブランケット、FeCrAl 合金、 α - Al_2O_3 被膜、ワイヤー放電加工

1. 緒言 核融合炉の液体 LiPb ブランケットにおいて、高温時の材料共存性や液体金属が磁場下を横切って流れる場合に発生する MHD 圧力損失が課題となっている。FeCrAl 合金が 1273 K 以上の大気下において形成する α - Al_2O_3 被膜は液体 LiPb から母材を保護するだけではなく[1]、絶縁被覆として機能させることで MHD 圧力損失を十分に低減することがわかってきた[2]。しかし、円管等をワイヤー放電加工で作製した場合、加工面にはクラックや再凝固層が形成される[3]。この場合において、大気中で酸化処理を施すと Cu や Zn 等を含む異常酸化物が局所的に形成され、本来の被膜の機能が損なわれることがわかった。本研究の目的は、ワイヤー放電カット加工後の生じうる異常酸化現象による被膜の機能低下を抑制する機構を明らかにすることである。

2. 試験材料と酸化処理条件 ワイヤー放電加工により FeCrAl 合金 APMT(Fe-22Cr-5Al-3Mo)製の円筒の内側をくり抜き、円管試験片(内径:12 mm、外径:15 mm)を作製した。この試験片の表面を SiC 製の研磨紙で研磨した後、1273 K の大気下で 1, 10, 100 時間、1373 K の大気下で 10 時間の酸化処理を施し表面に酸化膜を形成させた。円管の内壁に形成された酸化膜の形成状態を SEM/EDX で分析した。FIB 加工により円管内壁から薄膜片を作製し、FE-SEM/EDS により酸化膜の組織を分析した。

3. 結果と考察 円管内壁にはワイヤー放電加工で生じるクラックが局所的に確認され、そのクラックやその周辺の凹部には真鍮ワイヤーに由来する Cu や Zn を含む再凝固層が形成されていた。再凝固層の Cu と Zn の原子量はクラックの深部に行くにつれて少なくなった。酸化処理を施した円管内壁には α - Al_2O_3 被膜に加えて Cu や Zn 等を含む異常酸化物が部分的に確認された。図 1(a)に 1273 K で 100 時間の酸化処理を施した際に形成された異常酸化物の断面 FE-SEM/EDX 像を示す。1273 K で 100 時間、1373 K で 10 時間の酸化処理で確認された異常酸化物に含まれる Cu や Zn の原子量は 1273 K で 1 時間の酸化処理によって形成された異常酸化物よりも小さかった。また、1273 K で 10 時間の酸化した時と同様に異常酸化物の下層に Al リッチな酸化物が確認されたが、その厚さは同温度で 100 時間の酸化を施したときの方が厚かった。また、図 1(b)に 1373 K で 10 時間の酸化処理で形成された異常酸化物の断面 FE-SEM/EDX 像を示す。この場合においても十分な厚さの Al リッチな酸化被膜が形成することがわかった。酸化温度を高くあるいは酸化時間を長くすることにより異常酸化物の下層に十分な膜厚の Al リッチ酸化物を形成させ、期待された被膜の機能を得られることがわかった。

[1] M. Kondo et al., Corros. Sci. 197 (2022) 110070.[2] R. Nishio et al., Nuc. Mater. Energy 34 (2023) 101382.

[3] D. K. Aspinwall (2) et al., CIRP Ann. 57 1 (2008) pp. 187-190.

* Ryuhei Muto¹, Takashi Endo² and Masatoshi Kondo¹

¹Tokyo Institute of Technology, ²Research Institute for Electronic Science, Hokkaido University

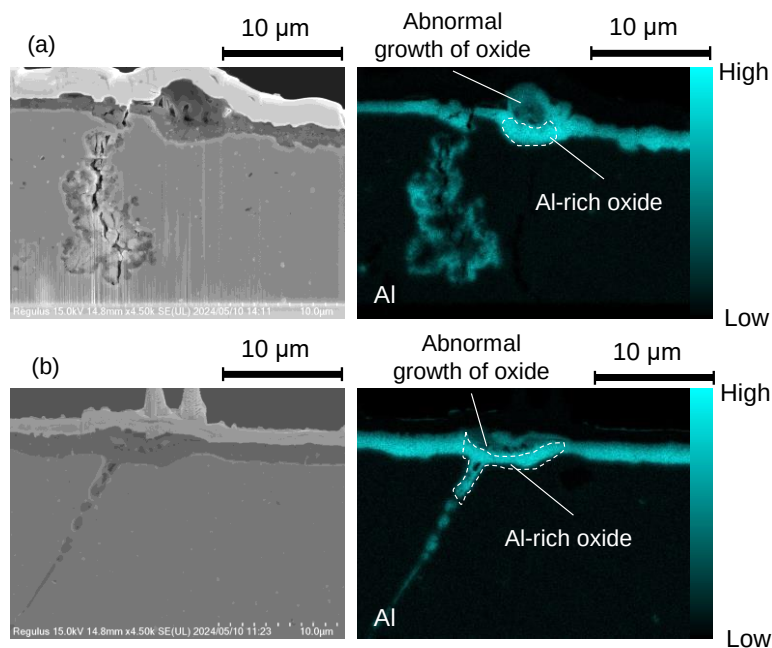


図 1 (a)1273 K で 100 時間の酸化処理を施した際に形成された異常酸化物、(b)1373 K で 10 時間の酸化処理を施した際に形成された異常酸化物の断面 FE-SEM/EDX 像

液体リチウム中でのバナジウム合金の腐食に関する研究

Study on vanadium alloy corrosion in liquid lithium

*片山 一成¹, 片山翔太¹, 森 裕薫¹, 荒川理央¹, 五十川浩希¹, 長坂琢也²
¹九大,²核融合研

Ti・Cr 組成の異なる V 合金試料を 600℃で液体 Li に約 240 時間浸漬し、質量変化を測定したところ、Ti 濃度 2 ～ 4 %では質量増加が生じ、1%では質量減少が生じた。Ti 濃度の減少に伴い、不純物対するスカベンジング効果が低減し、腐食が促進される傾向が示された。

キーワード：バナジウム合金、液体リチウム、腐食

1. 緒言

液体金属 Li は液体ブランケット材料として期待されており、低密度で低融点かつ高熱伝導特性を有する。しかし、化学的共存性に起因する腐食が問題となるため、構造物には液体 Li との適合性が要求され、長期間にわたって構造的な安定性を確保することが必要である。このような技術的背景下において、低放射化特性、高温強度特性及び照射特性に優れた V を主成分とし Cr 及び Ti を添加した V 合金が構造物候補として期待されている。Ti は液体 Li による腐食の影響を低減する一方で、核融合炉環境下で長半減期の放射性核種を生成するため、低放射化特性向上の観点からは Ti 添加量を最小限にすることが望ましい。現在 4wt% の Ti と Cr を添加した V-4Cr-4Ti 合金 (NIFS-HEAT-2 等) が候補材であるが、Ti を減らし Cr を増やした組成の合金も検討されている。しかしながら、液体 Li 環境下における Ti・Cr 組成に対する腐食への影響は明らかにされていない。そこで本研究では、Ti・Cr 組成の異なる V 合金試料を 600℃で液体 Li に浸漬し、質量変化を測定した。

2. 実験方法

V 合金試料は、核融合科学研究所にて切断、熱処理を行い準備した。試料サイズは、縦 10mm、横 8mm、厚さ 1mm である。Ar 雰囲気にて、Mo 坩堝に約 1g の Li と試料を充填し、片封じ石英管 (外径 34mm、内径 30mm、長さ 200mm) 内に設置した。石英管をガスの供給・排出ポートと熱電対挿入ポートを有する金属継手に挿入し O リングで固定した。万が一の Li 漏洩を想定して、Ar ガス置換可能なグローブボックス内に整備された電気炉に、試料含有石英管を設置し、30cc/min で Ar ガスを流通させながら、電 600℃まで昇温し、約 240 時間一定温度に保持した。加熱終了後、室温まで自然冷却し、石英管ごと別のグローブボックスに移送し、Ar 雰囲気中で Mo 坩堝を取り出した。坩堝内に水をゆっくりと滴下することで Li を溶解し、試料を回収した。実験前後での質量変化から腐食の進行を評価した。

3. 結果及び考察

図 1 に合金中の Ti 濃度と Li 浸漬加熱後の質量変化率との関係を示す。Ti 濃度が 2、3、4%と増加するに従って、質量が増加していることがわかる。一方、Ti 濃度が 1%と低い場合は、質量減少が生じている。Ti 濃度が高いほど Ti-CON の析出量が増し、質量増加に繋がったと考えられる。Ti 濃度 1%試料については、Ti-CON の析出に伴う質量増加を上回る腐食減肉が生じたことを示す。Ti 濃度の減少に伴い、Ti によるスカベンジング効果が低減し、腐食が促進される傾向が示された。

謝辞 本研究は、科研費 20H00144 及び核融合科学研究所一般共同研究 NIFS24KIEU008 の支援を受けたものである。

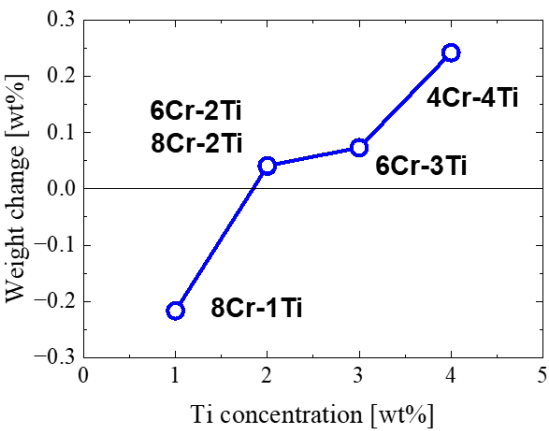


図 1 V 合金中 Ti 濃度に対する質量変化率

*Kazunari Katayama¹, Shota Takataya¹, Yuuka Mori¹, Rio Arakawa¹, Hiroki Isogawa¹, Takuya Nagasaka¹
¹ Kyushu Univ., ² NIFS