

FeCrAl 合金中の転位ループ形成挙動に及ぼす溶質原子の影響

Effect of solute atoms on dislocation loop formation in Fe-Cr-Al alloys

*橋本 直幸¹, 唐 一翔², 豊田 晃大³

¹北海道大学工学研究院, ²北海道大学工学院, ³日本原子力研究機構

事故耐性燃料被覆管材料として開発が進められている FeCrAl 合金における照射導入転位ループの形成機構について、実験的かつ理論計算的アプローチにより精査した。Cr および Al の転位ループ形成に及ぼす影響は異なり、Cr は格子間原子、Al は置換型原子として<100>ループの形成を抑制することが分かった。

キーワード : FeCrAl 合金, 電子線照射, DFT, 転位ループ, 溶質原子

1. 緒言

福島第一原発の事故以降、事故耐性燃料被覆管材料の開発が活発化し、Zr 合金の代替材料として、FeCrAl 系鉄鋼材料の開発研究が進んでいる。FeCrAl 鋼は、Fe-Cr 系フェライト鋼の特徴である耐スウェリング性を有し、かつ Al の適量添加により耐高温腐食特性を付した材料であり、これに酸化物を分散した FeCrAl-ODS 鋼は、現在最も信頼性の高い材料として認知されつつある。本研究では、FeCrAl 鋼の照射硬化に起因する照射誘起 2 次欠陥、特に転位ループの形成^[1,2]に着目し、1/2<111>型及び<100>型転位ループの形成割合に及ぼす溶質原子の影響について、超高压電子顕微鏡による照射実験と密度汎関数理論(DFT)解析により精査した。

2. 実験方法

供試材として、アーク溶解により作製した Fe-12Cr 及び Fe-12Cr-5Al モデル合金を用いた。各合金を冷間加工後 3mmφ ディスクに打ち抜き、石英管アンプルに真空封入して 800°C で 2 時間熱処理した。熱処理後、0.15mm 厚まで機械研磨した後、電解研磨により TEM 実験用薄膜とした。電子線照射実験は、北大の Multi-beam HVEM (1.2MeV)を用いて照射温度 288 °C で損傷量 1 dpa (約 17 min)まで行い、転位ループの形成・成長挙動を記録した。照射実験後、汎用型電子顕微鏡 (200keV)を用いて微細組織を詳細に観察した。DFT 計算は、GPAW 法を用いて 5×5×5 のセルサイズで行った。

3. 結果と考察

Fe-12Cr 及び Fe-12Cr-5Al 各モデル合金に電子線照射を行った結果、各合金中に<100>及び 1/2<111>転位ループの形成・成長が観察されたが、キャビティは観察されなかった。TEM 解析の結果、各合金中に形成した<100>型及び 1/2<111>型転位ループの数の比:<100>/<111>はそれぞれ 1.8 及び 0.9 であり、両合金とも<111>型転位ループの平均径は<100>型ループと比較して大きくなった。実験結果を踏まえて DFT 計算を行った結果、Fe-Cr ダンベルの形成エネルギーは<111>の方が小さく、結果として<100>/<111>が Cr 濃度の上昇に伴い減少することが判明した。さらに、<111>型ループは Al 近傍に形成しにくいいため、Al 添加合金中では<111>型ループの移動度が減少して<111>型ループ同士の反応^[3]が起こりにくくなることが判明した。したがって、この結果、Fe-12Cr-5Al 中における<100>/<111>が Fe-12Cr と比較して低下したものと推察される。

参考文献

- [1] K.G. Field, S.A. Briggs, K. Sridharan, Y. Yamamoto, R.H. Howard, J. Nucl. Mater. 495 (2017) 20-26.
- [2] M. Hernandez-Mayoral, C. Heintze, E. Onorbe, J. Nucl. Mater. 474 (2016) 88-98.
- [3] J. Marian, B.D. Wirth, Phys. Rev. Lett. Vol 88 25 (2002) 24.

*Naoyuki Hashimoto¹, Yixian Tang² and Kodai Toyota³

¹Faculty of engineering, Hokkaido Univ., ²Graduate school of engineering, Hokkaido Univ ³Japan Atomic Energy Agency