

Fe-Mn 合金中の転位ループ形成に対する Ni 添加の影響

Effect of Ni addition on dislocation loop formation in Fe-Mn alloys

*石田 優太¹, 福元 謙一¹, 藤井 克彦²

¹福井大学, ²原子力安全システム研究所

Fe イオン照射した Fe-1.5Mn-xNi 合金(x=0,2.0) を透過型電子顕微鏡(TEM)観察し Fe-Mn 合金中の転位ループ形成に対する Ni 添加の影響を調べた。2.0wt%Ni 添加で約 1.5 倍の形成促進効果があるとわかった。

キーワード: イオン照射, 圧力容器鋼モデル合金, 転位ループ

1. 緒言

軽水炉の原子炉圧力容器の中性子照射脆化は最も重要な高経年化事象の一つである。近年,主な脆化因子として Cu,Mn,Ni,Si を含む溶質原子クラスタや転位ループが形成されることが明らかになっている。このような照射損傷組織の形成に対する照射条件や材料条件の影響を明らかにすることは,メカニズムに基づく照射脆化予測手法の高度化に不可欠である。本研究では,低損傷速度で Fe イオン照射した圧力容器鋼モデル合金 Fe-1.5Mn-xNi (x=0,2.0)を TEM 観察して転位ループ形成に対する Ni 添加の影響を調べた。さらに報告されているアトムプローブ分析で測定された溶質原子クラスタの形成データとの関係を検討することで照射損傷組織形成に対する Ni の影響を評価した。

2. 実験

京都大学イオン照射装置 DuET で 6.4MeV の Fe³⁺イオンを 290℃で照射した Fe-1.5Mn-xNi (x=0,2.0)合金を用いた。損傷ピーク深さ約 1500nm での照射量/照射速度は 0.08dpa/4.2×10⁻⁵dpa/s, 0.47dpa/4.2×10⁻⁵dpa/s の 2 条件である。集束イオンビーム加工装置を用いて厚さ約 200nm の薄膜試料を切り出した後,精密イオン研磨装置による 0.5kV のアルゴンイオンビームスパッタリングを用いて Ga イオンダメージ層を除去した。薄膜試料に対しウィークビーム法を用いた TEM 観察で転位ループの観察を行った。

3. 実験結果

図に照射量 0.47dpa の Fe-1.5Mn 試料及び Fe-1.5Mn-2.0Ni 試料の損傷ピーク位置における暗視野像を示す。両合金共に転位ループに対応する白い輝点が観察された。なお照射量 0.078dpa 試料では 0.47dpa で観察されたようなコントラストは観察されず,転位ループの形成は認められなかった。Fe-1.5Mn 合金の転位ループ平均直径(d)は 4.0 nm,数密度(N)は 2.1×10²² m⁻³ であり,Fe-1.5Mn-2.0Ni 合金は 2.8 nm,6.7×10²² m⁻³ であった。2.0%Ni 添加により高密度に微細な転位ループが形成されることがわかった。また,押し込み深さ 300nm で測定した超微小硬さは 0wt%合金で 1282MPa,2.0wt%Ni 合金は 1744MPa であり,Ni 添加により約 1.4 倍の硬さの増加が認められた。

Orowan モデルの硬化係数を同値と仮定し $\sqrt{Nd}$ を算出し硬化への寄与を検討した。結果から Ni の添加により約 1.5 倍の硬化寄与を示した。同一試料におけるクラスタの硬化寄与も約 1.6 倍と類似した値_[1]を示したことから,Ni 添加がクラスタ及び転位ループ形成に対し類似した形成促進効果を示すことがわかった。

参考文献

[1] 藤井克彦, 福谷耕司, “原子炉容器鋼中の溶質原子クラスタ形成に対する Ni の影響”, INSS JOURNAL, 29, p.126 (2022).

*Yuta Ishida¹, Ken-ichi Fukumoto¹, Katsuhiko Fujii²

¹University of Fukui, ²Institute of Nuclear Safety System, Inc.

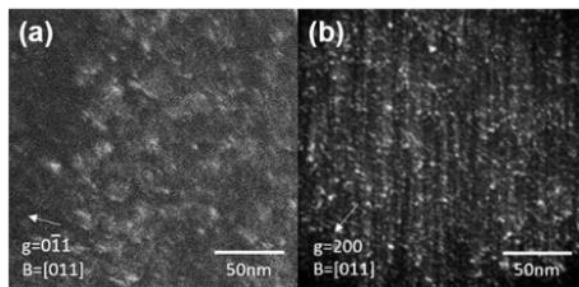


図.暗視野像 (a)Fe-1.5Mn, (b)Fe-1.5Mn-2.0Ni