

照射により压力容器鋼モデル合金に形成される溶質原子クラスターの評価

Evaluation of solute atomic clusters formed in pressure vessel steel model alloys by irradiation

* 田中 健登¹, 渡邊 英雄¹, 入江 拓也¹, 合屋 佑介¹

¹九州大学

Cu や Ni 含有量の異なる压力容器鋼モデル合金材に重イオン照射や中性子照射し、内部組織観察を行う。

EDS 分析や TEM 像から溶質原子クラスターと転位ループの同時観察し、硬度上昇量の比較、硬さの回復挙動、脆化予測式との比較を行った。

1. 緒言

原子炉压力容器鋼(以下, RPV 鋼)は、運転中に中性子照射を受けることにより、照射欠陥が形成され、脆化する。この照射脆化の主要因として、照射によって導入されたマトリックス欠陥(転位ループ)の形成や鋼材中の不純物である Cu や他の添加元素の集合体から成る溶質原子クラスターの形成などが挙げられる。本研究では、Cu や Ni が実用鋼に及ぼす影響について調べるため、Cu および Ni 含有量の異なる原子炉压力容器鋼モデル合金に中性子およびイオン照射を行い、硬度変化測定や収差補正機能付き電子顕微鏡(ARM)を用いた内部組織観察、EDS 分析を用いた欠陥解析や解析手法、照射後焼鈍実験を行うことにより、照射欠陥の熱的な挙動について検討、考察を行った。

2. 実験方法

実験にはベルギー・モル研究所の原子炉(BR2)により中性子照射された試料(LA,LC,LD,LG 材), 重イオン照射された試料を用いた。BR2 の CALLISTO 照射の照射条件は、照射温度が 290℃, 照射量が $5.7 \times 10^{23} [\text{n/m}^2]$ (約 0.1dpa), $8.28 \times 10^{23} [\text{n/m}^2]$ (約 0.16dpa)である。TEM の明視野像から Orowan の硬化モデル⁽¹⁾を用いて転位ループによる硬度増加 $\Delta\text{HV}_{\text{loop}}$ を算出し、EDS 定量分析から Russell Brown の硬化モデル⁽²⁾を用いてクラスターによる硬度増加 $\Delta\text{HV}_{\text{ppt}}$ を算出した。硬度測定にはビッカース硬度試験機を使用し硬度上昇量(ΔHV)を計測した。試験荷重は 100g, 押し込み時間は 15 秒とした。

3. 実験結果

中性子照射済み压力容器鋼モデル合金 4 種(LA, LC, LD, LG 材)を硬度測定し、計算値($\Delta\text{HV}_{\text{loop}} + \Delta\text{HV}_{\text{ppt}}$)と比較したものを図 1 に示す。LA, LG 材の硬度上昇量の大部分を転位ループが占めるが、LC, LD 材ではクラスターによる硬度上昇が約半分を占めることが分かった。LA, LC, LD 材における硬度上昇の計算値は概ね実測値と近い値となったが、LG 材では計算値が実測値を大きく上回った。転位ループと Mn-Ni クラスターによる硬度上昇への寄与を詳しく調べる必要がある。

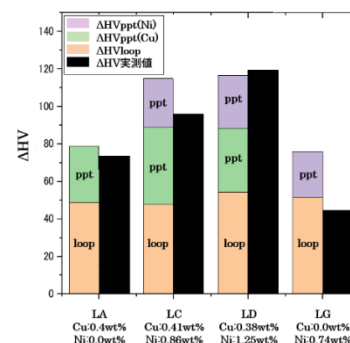


図 1 LA~LG 材の ΔHV

4. 結論

Russell Brown, Orowan のモデルを用いて BR2 により中性子照射された組成の異なる 4 種類の試料(LA, LC, LD, LG 材)の ΔHV を算出し、転位ループと溶質原子クラスターによる硬度上昇量($\Delta\text{HV}_{\text{loop}} + \Delta\text{HV}_{\text{ppt}}$)を算出し比較した。Cu が添加されている試料では硬度上昇量を転位ループと溶質原子クラスターから計算で概ね求めることが出来たが、Cu が添加されておらず、Mn-Ni クラスターと転位ループが形成された試料(LG 材)では計算値($\Delta\text{HV}_{\text{loop}} + \Delta\text{HV}_{\text{ppt}}$)が実測値を大きく上回る事が分かった。また、Cu クラスターによる硬度上昇量を計算する際の閾値の妥当性について確認した。

参考文献

- [1] E. Orowan, Mechanism of seismic faulting in rock deformation, Geol. Soc. Am. Mem., 79, p. 323 (1960).
- [2] K. C Russell and L. M Brown, Acta Metallurgica, 20, 969 (1972)

*Kento Tanaka¹, Hideo Watanabe¹, Irie Takuya¹ and Gouya Yusuke¹

¹Kyushu Univ.