

加速器を利用した照射材料挙動モデルの構築

Development of behavioral model using accelerator for predicting radiation response of materials

石川 法人¹⁾ 大久保 成彰¹⁾ 阿部 陽介¹⁾ 橋本 直幸²⁾ 實川 資朗³⁾

Norito ISHIKAWA Nariaki OHKUBO Yosuke ABE Naoyuki HASHIMOTO Shiro JITSUKAWA

¹⁾原子力機構 ²⁾北海道大学 ³⁾福島高専

（概要）

軽水炉構造材としての圧力容器鋼は、照射環境では欠陥クラスターや転位ループの増加により、その機械的強度が劣化することが知られている。照射環境での材料の微細組織のふるまいを予測することは重要であり、これまで多くの研究が行われてきた[1]。しかし、シビアアクシデントを想定した照射後熱負荷の影響は、微細組織の観点からほとんど研究されてこなかった。照射後に成長した微細組織が高温でどのようにふるまうかを調べることは、照射影響に関する既存の予測モデルが通常の動作温度より高温でも適用できるかを問う問題であり、その予測モデルがどのような環境条件まで適用可能かを検証することである。

キーワード：低合金鋼、シビアアクシデント、イオン照射

1. 目的

高経年化を迎えている軽水炉構造材の安全性評価には、軽水炉圧力容器の照射脆化は最も重要な研究課題の 1 つである。沸騰水型軽水炉(BWR)の通常運転時における圧力容器鋼の温度は 288 °C であるが、シビアアクシデントによる冷却系統停止時には、この温度を超える高温にさらされることが予想され、本来の圧力容器鋼の健全性を損なう可能性がある。本研究では、シビアアクシデント時の高熱負荷が圧力容器鋼の照射損傷組織に与える影響を調査した。

2. 実施方法

低合金鋼の基本組成である Fe-0.75Mn-0.47Mo-0.45Ni モデル合金をアーク溶解により作製し、機械および電解研磨によって電子線照射実験用薄膜試料とした。照射実験は、超高压電子顕微鏡(HVEM)を用いた電子線照射その場観察及びイオン加速器による Fe³⁺イオン照射とした。電子線照射実験は、照射温度 290°C、損傷速度 3.0×10^{-4} dpa/s、損傷量最大 0.2 dpa の条件で行った後、照射温度を 500 °C に上昇させて熱時効を施した。この間、照射による材料の損傷組織および熱時効による損傷組織の継時変化を精査した。また、イオン照射実験は、TIARA 照射施設にて照射温度 300°C、最大 0.1 dpa まで行い、照射後に汎用電子顕微鏡で組織観察を行った。

3. 結果及び考察、今後の展開等

290 °C で電子線照射した際の照射損傷組織の継時変化の結果は以下のとおりである。損傷量 0.05 dpa で直径 5 nm 以下の欠陥クラスター(ブラックドット)が形成した。このブラックドットは、損傷量の増加に伴って成長して転位ループへ変化するものと、全く成長しないものがある。また、290 °C で電子線照射した試料を 500 °C で熱時効すると転位ループの数密度の減少と平均サイズの増加が観られ、転位ループのサイズ分布が大サイズ側へシフトした。この現象は、熱時効中の微小ループの消滅と、マトリクス中に放出された格子間原子の転位ループへの流入により説明される。一方、高温低損傷速度で追加照射を行った場合、転位ループの数密度の減少および平均サイズの増大はより顕著となる。これは、高温での熱時効と照射による点欠陥の導入の相乗効果と推察される。

4. 引用(参照)文献等

[1] K. Fukuya, K. Ohno, H. Nakata, S D. Dumbill, “Microstructural evolution in medium copper low alloy steels irradiated in a pressurized water reactor and a material test reactor” J. Nucl. Mater. 312 (2003) 163-173.