

イオン照射による原子炉圧力容器鋼溶接熱影響部の硬化と微細組織

Microstructure and hardening of ion-irradiated heat-affected zone of reactor pressure vessel steel

*河 侑成¹, 高見澤 悠¹, 勝山 仁哉¹, 西山 裕孝¹, 吉田 健太², 外山 健², 永井 康介²

¹原子力機構, ²東北大金研

原子炉圧力容器 (RPV) 内面にあるクラッドにおける溶接熱影響部 (HAZ) の照射硬化と金属組織の関係を調べるため、Fe²⁺イオンを照射した HAZ と母材に対して照射硬化量測定及び組織観察を行った。

キーワード：原子炉圧力容器鋼、溶接熱影響部、金属組織、イオン照射、硬さ変化

1. 緒言

RPV 内面には冷却水による低合金鋼の腐食を抑制するため、ステンレス鋼が肉盛溶接施されている(以下、クラッド)。このクラッド下では溶接時の熱履歴により微細な組織変化が起こり、HAZ が生じる。照射脆化を対象とした、RPV の加圧熱衝撃事象に対する健全性評価においては[1]、クラッドの存在を考慮し、クラッド下に深さ 10 mm の半楕円き裂を想定する。想定き裂前縁には HAZ も含まれており、照射脆化感受性が母材と異なる可能性があることから、本研究では、イオン照射したクラッド下 HAZ と母材に対する照射硬化量測定及び組織観察を行い、照射硬化と金属組織の関係について検討した。

2. 実験

肉盛溶接された低合金鋼 (板厚 200 mm) のクラッド下約 10 mm の HAZ 及び低合金鋼表面から板厚 1/4 部の母材から試験片を採取した。HAZ 内の組織分布は、金相観察・SEM-EBSD 及び有限要素法(FEM)解析[2]により調べた。HAZ 及び母材に対して、2.8 MeV の Fe²⁺イオン照射を実施し、照射硬化を評価した。照射温度は 290°C、照射表面から深さ約 600 nm での損傷量が約 0.5 dpa となるようにした。透過型電子顕微鏡を用いた観察から析出物の分布と照射前後転位密度の変化について解析を行い、照射特性と微細組織の関係を調べた。

3. 結果

HAZ の組織は、溶接時の温度分布によって、光学顕微鏡観察及び EBSD 分析により、クラッド下から粗大粒領域と細粒領域に大別され、FEM 解析結果と対応していることを確認した。照射前後のナノインデンテーション硬さ測定により、HAZ においては母材より照射による硬化量が大きい傾向を示すことが分かった。細粒領域の場合、位置によって硬化量が異なり、細粒焼戻し域加熱熱影響部(SCFGHAZ)の硬化量が最も高い傾向であった。図 1 にイオン照射後 SCFGHAZ の STEM 明視野像を示す。SCFGHAZ 内の全領域において析出物が分布していることを確認し(図 1(a))、照射領域で転位ループが観察された(図 1(b))。結晶粒サイズや析出物分布の違いが照射硬化に影響を与えたと考えられる。析出物は照射または溶接時の熱履歴によるものと考えられ、生成原因を詳しく調べている。

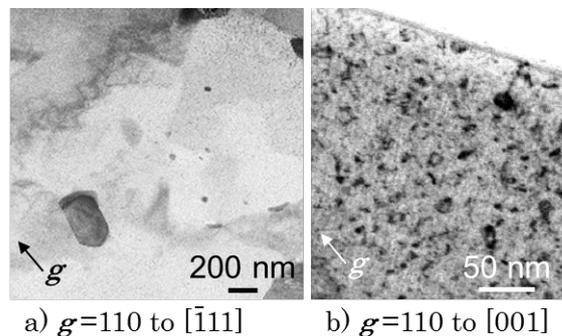


図 1 SCFGHAZ の照射領域

参考文献

- [1] 日本電気協会電気技術規程原子力編、「原子炉圧力容器に対する供用期間中の破壊靱性の確認方法」、JEAC4206-2016
 [2] J. Katsuyama et al. J. Pressure Vessel Technol. 135(5), (2013) PVT-12-1103

*Yoosung Ha¹, Hisashi Takamizawa¹, Jinya Katsuyama¹, Yutaka Nishiyama¹, Kenta Yoshida², Takeshi Toyama² and Yasuyoshi Nagai²
¹JAEA, ²Tohoku Univ.