

イオン照射した原子炉圧力容器鋼溶接熱影響部の X 線吸収を用いた微細組織分析

Microstructure analysis using X-ray absorption on HAZ of ion-irradiated RPV steel

*河 侑成, 岩田 景子, 高見澤 悠, 岡本 芳浩, 下山 巖, 本田 充紀,
埜 悟史, 西山 裕孝

日本原子力研究開発機構

原子炉圧力容器鋼の溶接熱影響部 (HAZ) について、広域 X 線吸収微細構造(EXAFS)解析を用いて、イオン照射による溶質原子周辺の構造変化を調べた。

キーワード: 圧力容器鋼、溶接熱影響部、X 線吸収微細構造、イオン照射

1. 緒言

原子炉圧力容器鋼の溶接熱影響部 (HAZ) では、熱履歴に応じて組織が分布している。HAZ の照射硬化やメカニズムを知るには HAZ の組織毎の照射による微細構造変化を調べることが重要である。EXAFS は、X 線のエネルギーを連続的に変えながら入射し、元素固有のエネルギーで内殻電子が励起される際の吸収エネルギーについて透過 X 線または蛍光 X 線から分析する手法であり、特定元素に着目して結合距離や化学状態の情報を取得できる。3次元アトムプローブなどではナノオーダー領域における溶質原子クラスター等が観察できるが、EXAFS では観察する領域の平均的な情報として非破壊的に評価できる。本研究では、ステンレスオーバーレイクラッド (以下、クラッド) 直下に生じる HAZ の未照射材及びイオン照射材に対して、EXAFS による特定元素の X 線吸収スペクトルを取得し、微細構造の変化を調査した。

2. 実験

低合金鋼 (Cu: 0.16wt.%) のクラッド直下の HAZ に対して、290°C で 2.8 MeV の Fe²⁺イオン照射を行った。損傷量は照射表面から 600 nm の深さにおいて約 0.5 dpa であった。放射光施設 (KEK PF BL-27B) において、未照射材及び照射材に対する X 線の入射角を 45 度とした蛍光法を用いて Cu K 吸収端 (8984 eV)、Mn K 吸収端 (6539 eV) 及び Mo K 吸収端 (20003 eV) の EXAFS 測定を実施した。取得した X 線吸収スペクトルの解析には WinXAS 3.2 を使用した。

3. 結果

図 1 に Cu K 吸収端と Mn K 吸収端の未照射材及び照射材のフーリエ変換スペクトルを示す。また、実験結果と比較するため、XAFS 理論計算ソフト FEFF により中心原子を Cu に置換した Fe の bcc 型結晶構造 (bcc Fe-Cu) や空孔型欠陥を想定した結晶構造 (bcc Fe-Cu-欠陥型) の理論フーリエ変換スペクトルを示す。Cu K 吸収端のスペクトルについて、照射材のピーク高さは未照射材に比べ全体的に減少しており Cu 原子周囲の原子配列の乱れの増加もしくは配位数が減少したことが判る。FEFF によるモデル計算の結果も同様であることから、イオン照射により空孔型欠陥が生成し、Cu 溶質原子は空孔型欠陥との複合体で存在する可能性が示唆された。また、Mn K 吸収端のスペクトルでは照射による変化が認められないことから、溶質原子の中でも Cu と照射欠陥の親和性が高いものと考えられる。一方、Mo K 吸収端のスペクトルについて、未照射材では熱履歴に応じて分布する HAZ の各組織により違いが認められ、Mo 系炭化物の分布が HAZ の組織によって異なることが推測された。なお、イオン照射による Mo K 吸収端のスペクトルには未照射材と比較して有意な変化が認められなかった。

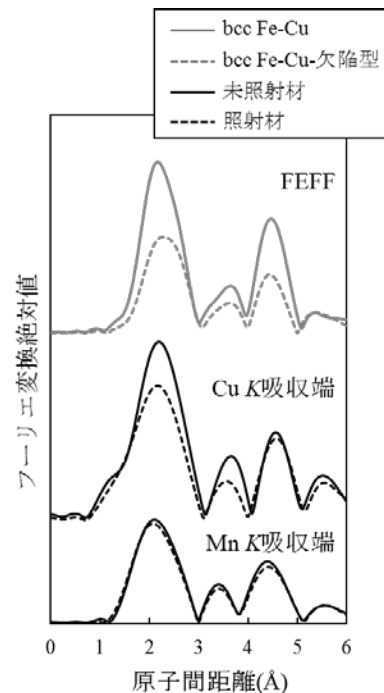


図 1 Cu K 吸収端、Mn K 吸収端のフーリエ変換後スペクトル及び FEFF による理論スペクトル

*Yoosung Ha, Keiko Iwata, Hisashi Takamizawa, Yoshihiro Okamoto, Iwao Shimoyama, Mitsunori Honda, Satoshi Hanawa, Yutaka Nishiyama

Japan Atomic Energy Agency