

非線形超音波法による電子線照射した低合金鋼のミクロ組織変化の評価

Evaluation of microstructural change in electron-irradiated low alloy steels by nonlinear ultrasonic method

*小島 敦子¹, 藤井 克彦¹, 石田 仁志¹, 川嶋 紘一郎²

¹原子力安全システム研究所, ²超音波材料診断研究所

高エネルギー電子線を照射した低合金鋼に対して、超音波非破壊材料評価法のうち水浸局部共振高調波法により局部共振高調波振幅を測定した結果、照射量の増加に伴い高調波振幅が増加することが分かった。高調波振幅の増加は硬さの増加と溶質クラスタの形成とよい相関を示した。

キーワード：原子炉容器鋼, 中性子照射, 照射脆化, 非線形超音波, 局部共振高調波

1. 緒言

原子炉容器の照射脆化を非破壊的に評価する試みは1990年代から行われ、磁気的手法、熱起電力法、超音波法等が試みられてきた。一方、原子炉容器の照射脆化の主な機構として、ナノメートル・サイズの溶質原子クラスタとマトリックス損傷（格子間原子や空孔の集合体）の形成が考えられ、近年、3次元アトムプローブ（APT）法によりCuリッチ析出物等の溶質原子クラスタの実証がなされている。前報^[1]では、高エネルギー電子線照射の有無により、水浸局部共振高調波法で測定した高調波振幅に差が生じることを報告した。本研究では、電子線の照射量が異なる低合金鋼に対して、水浸局部共振高調波法による測定を実施し、照射に伴うミクロ組織変化と高調波振幅との関係を調べた。

2. 方法

供試材には、5MeVの電子線を290°Cで照射したCu含有量が0.12wt%のA533B鋼で、照射量が異なる5試料を用いた。表1に電子線照射量と試料厚さをまとめて示す。試料形状は短冊形状であり、板厚の差は2%以下である。水浸局部共振高調波法にて3次高調波振幅の分布（3次高調波像）を測定した。3次高調波像の取得領域に対して、硬さ測定とAPTによるミクロ組織観察を実施した。

3. 結論

硬さは照射量の増加とともに大きくなり、非照射試料からの最大照射量であるA-12試料の硬さの増加量は35HV0.5であった。また、APT観察では、A-12試料とA-7試料でのみ溶質原子クラスタの形成が確認された。A-12試料では平均直径2.4nm、数密度 $2.5 \times 10^{23}/\text{m}^3$ 、A-7試料では平均直径2.0nm、数密度 $2.0 \times 10^{23}/\text{m}^3$ であった。図1に、入射共振周波数19.28MHz、励起電圧0.4Vの条件で測定した3次高調波像を示した。3次高調波像は、左から右に向かって電子線照射量が大きい試料になるように配置した。照射量の増加に伴い高調波の発生量が増加する傾向を確認した。また、溶質原子クラスタの形成が認められたA-12試料とA-7試料において、強い3次高調波振幅が観察され、溶質クラスタ形成が3次高調波振幅量の増加に影響していることが示唆された。

表1 試料の電子線照射量と厚さ

ID	照射量(dpa)	厚さ(mm)
A-14	0.0001	0.930
A-01	0.0009	0.917
A-06	0.0027	0.920
A-07	0.0090	0.920
A-12	0.0217	0.919

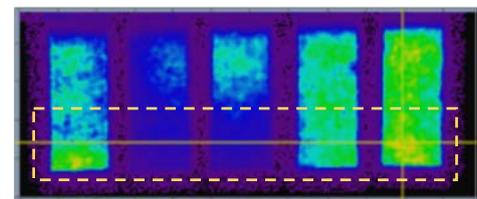


図1 3次高調波の発生量の比較
(枠内は、照射を受けた領域を示す)

[1]藤井他、日本原子力学会 2019年春の年、1M03、2019.

*Atsuko Kojima¹, Katsuhiko Fujii¹, Hitoshi Ishida¹ and Koichiro Kawashima²

¹Institute of Nuclear Safety System, Inc., ²Ultrasonic Materials Diagnosis Laboratory Ltd.