

高温水中で腐食試験した照射ステンレス鋼の粒界部の引張破壊挙動

Tensile fracture behavior at grain boundary in irradiated stainless steels immersed in PWR primary water

*三浦照光、福村卓也、藤井克彦、福谷耕司

原子力安全システム研究所

中性子照射材の粒界酸化部を室温で超微小引張試験した結果、酸化していない粒界部より低い応力で破壊が生じ、粒界酸化は粒界部の強度を低下させることが確認された。また、同様に腐食試験したイオン照射材では中性子照射材で認められた元粒界に沿った様な破壊は生じず、粒界に形成した酸化物が中性子照射材とは異なる可能性が示唆された。

キーワード：ステンレス鋼、中性子照射、粒界酸化、超微小引張試験、照射誘起応力腐食割れ

1. 緒言

中性子照射されたステンレス鋼を PWR 一次系模擬環境水中で腐食試験すると粒界に沿った優先酸化が生じる[1]。粒界酸化部が破壊されると粒界割れの起点になると考えられ、照射誘起応力腐食割れの発生にも関係すると考えられるが、その破壊挙動は良く分かっていない。また、中性子照射材では粒界に偏析が生じ、キャビティが形成する場合があることから粒界に形成される酸化物は母材の酸化物とは状態が異なる可能性が考えられるが詳細は良く分かっていない。本研究では粒界酸化部の破壊挙動を把握するため、高温水中で腐食試験した SUS316 ステンレス鋼の中性子照射材とイオン照射材の粒界部を対象に超微小引張試験を実施した。

2. 試験

試験材は 320℃ の PWR 一次系模擬環境水中で約 1000 時間の腐食試験を行った冷間加工 SUS316 ステンレス鋼の中性子照射材（照射量 73dpa）と Fe イオン照射材（照射量 5dpa）である[1,2]。試験材より大傾角粒界を含む $8 \times 4 \times 2 \mu\text{m}$ の超微小引張試験片を集束イオンビーム（FIB）加工で作製し、中性子照射材では優先酸化した部位を、イオン照射材では中性子照射材ほど明確に優先酸化していないために内層酸化膜の元粒界であった部位と酸化していない粒界部をそれぞれの試験片中央に応力軸に対して垂直に配した。試験片側面よりスリットを導入して粒界部の大きさを $0.3 \times 2 \mu\text{m}$ とし、FIB 装置内で室温にて引張試験した。試験後、破面を SEM 観察して破壊の様子を調べた。

3. 結果

中性子照射材の破面を図に示す。母材側の端部で延性破壊が確認されたが、破面はほぼ平坦であり、試験片は酸化した元粒界に沿って脆性破断したと推測された。破断時の荷重は $660 \mu\text{N}$ で、破面断面積で除した破断時の応力は 1100MPa であった。照射のままでは $800 \mu\text{N}$ で粒界割れが生じ、破断時の応力は 2700MPa であったことから[3]、酸化した粒界部の強度は酸化前の $1/3$ であることが分かった。また、イオン照射材では酸化部は $680 \mu\text{N}$ で破断したが破面には凹凸があり、内層酸化膜が割れて破断し、未酸化部は $1460 \mu\text{N}$ で粒界近傍が絞れて延性破断した。イオン照射材は粒界偏析が少なく、キャビティも形成していないため、粒界の酸化物が中性子照射材とは異なり、破壊挙動が異なった可能性が示唆された。

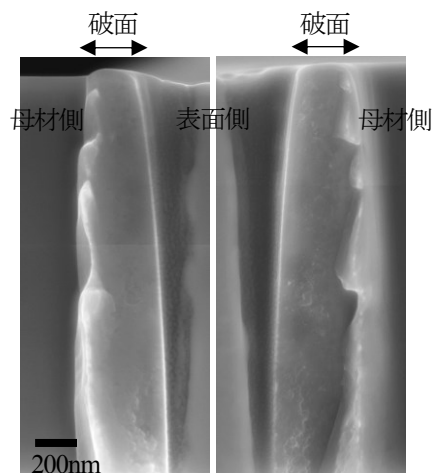


図 中性子照射材の破面

参考文献

- [1] 福村他, 日本原子力学会 2015 年秋の大会, I26. [2] 三浦他, 日本原子力学会 2015 年秋の大会, I40.
[3] T. Miura et al., The Nuclear Materials Conference 2014, FL, USA, October 27-30, 2014.

*Terumitsu Miura, Takuya Fukumura, Katsuhiko Fujii, Koji Fukuya

Institute of Nuclear Safety System