

高温水中における 3 dpa 中性子照射ステンレス鋼の粒界酸化

Grain boundary oxidation of 3 dpa neutron-irradiated stainless steels in high temperature water

*福村 卓也¹, 福谷 耕司¹, 藤井 克彦¹, 三浦 照光¹, 橋内 裕寿²
¹原子力安全システム研究所, ²日本核燃料開発

3 dpa まで中性子照射された 316 ステンレス鋼を PWR 一次冷却材模擬環境中で腐食試験後、粒界部のミクロ組織を分析した結果、粒界酸化を確認した。3 dpa 照射材の粒界酸化長さは同時に腐食試験した 73 dpa 照射材に比べて短く、照射量の増加により粒界酸化長さも増加することが分かった。

キーワード : IASCC, 粒界酸化, 316 ステンレス鋼, 腐食, PWR

1. 緒言

照射による腐食挙動の変化は IASCC に関係していると考えられることから、IASCC メカニズム解明には、照射材の酸化挙動の把握が重要になる。前報[1]では実機 PWR で照射された 316 ステンレス鋼製フラックスシムプルチューブ (FTT) に定荷重を荷したまま、温度 320°C の PWR 一次冷却材模擬環境中で 1149 時間の腐食試験を行い、73 dpa 照射材で粒界酸化が確認されるなどの知見を報告した。本研究では同時に腐食試験した 3 dpa 照射材の粒界酸化状況を詳細に調べ、粒界酸化長さや粒界組成変化に対する照射量や応力の影響について調べた。

2. 試験

本研究では前報で腐食試験に供した 3 dpa 照射材の引張応力 (400 MPa) 部と応力中立部から粒界を含む薄膜試料を集束イオンビームで作製し、透過電子顕微鏡 (TEM) による粒界の断面観察とエネルギー分散型 X 線 (EDS) 分析を行った。今回分析に供した材料の照射量、照射温度、照射速度はそれぞれ 3 dpa, 323°C, 8.7×10^{-9} dpa/s である。

3. 結果と考察

図 1 の断面 TEM (Z コントラスト) 観察例に示すように、試験片表面粒界に沿ってコントラストの濃い酸化物が観察された。表面の酸化物は Cr リッチな微細なスピネル構造の内層と Fe リッチな外層の 2 層構造である。粒界酸化部では表面酸化物に比べて不明瞭なリング状の回折パターンが観察された。粒界 9 個を観察した結果、ほぼすべての粒界で平均長さ 100 nm の粒界酸化が観察され、3 dpa という比較的低照射量から粒界酸化が起ることが確認された。前報[1]にて 73 dpa 照射材の 4 個の粒界で平均 400 nm の粒界酸化が観察されており、照射量の増加により粒界酸化長さが増加することが分かった。応力の影響に関しては、引張応力の有無による粒界酸化長さの違いは確認されなかった。図 1 で観察した粒界酸化部と粒界酸化前方の粒界の組成変化を EDS で分析した結果、図 2 に示すように粒界酸化部の粒界は Cr が濃化し、Ni と Fe が欠乏しており、Cr リッチな酸化物であった。また、粒界酸化前方の粒界上は Ni が濃化していた。これら

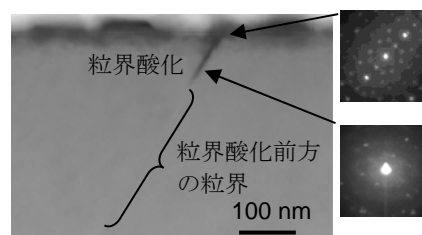


図 1 断面 Z コントラストおよび電子線回折

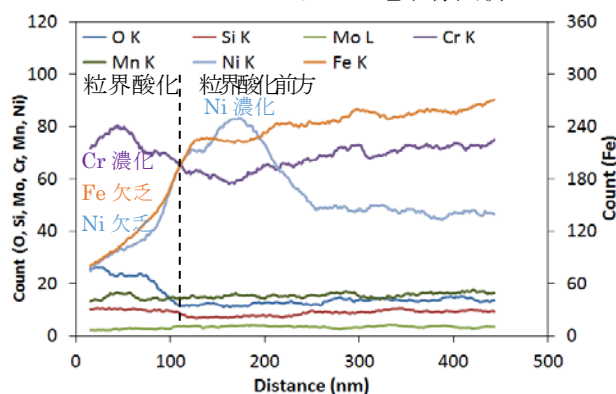


図 2 粒界組成変化 EDS

の粒界組成変化には照射量や応力の影響は確認されなかった。照射量が 3 dpa から 73 dpa に増加することにより、粒界の Cr 濃度が約 14 から 12 wt% へ Ni 濃度が約 20 から 25 wt% に粒界組成が変化しており[2]、照射誘起偏析の進行が粒界の腐食特性を変化させ、粒界酸化長さの増加と関係していることが考えられる。

参考文献

- [1] 福村卓也, 福谷耕司, 藤井克彦, 三浦照光, 橋内裕寿, 日本原子力学会 2015 年秋の大会予稿集, I26, 2015.
 [2] K. Fukuya, K. Fujii, M. Nishioka and Y. Kitsunai, J. Nucl. Sci. Technol., 43(2006)159.

*Takuya Fukumura¹, Koji Fukuya¹, Katsuhiko Fujii¹, Terumitsu Miura¹ and Yuji Kitsunai²

¹Institute of Nuclear Safety System, Incorporated, ²Nippon Nuclear Fuel Development Co., Ltd.