

日本原子力学会賞受賞内容

第 49 回日本原子力学会論文賞 (第 4904 号)

Effects of Local Radiolysis and Geometric Parameters on Intergranular Attack Caused by Crevice Corrosion

(株)日立製作所

渡辺敦志, 和田陽一

日立 GE ニュークリア・エナジー(株)

茂中尚登

金属腐食の一つの形態として Crevice Corrosion (隙間腐食) があります。最近では、3D プリンタで一体成型も可能となり、その加工品には繋ぎ目が無く、いわゆる隙間フリーとすることも可能です。しかし、多くの構造物では、複数の部材を組み合わせて用いるため、設計上避けられない「隙間」が生じてしまうことがあります。十分大きな間隔を確保できれば問題無いのですが、徐々に狭くなると、腐食が起きやすく且つ、進行が速い、いわゆる隙間腐食が発生することが知られています[1]。そこで、ステンレス鋼の「隙間」となる幅、高さ、奥行きがどの程度か、特に放射線下の環境で調査することが今回の研究対象です。

以下に研究の概要を、受賞概要から抜粋し、紹介致します。

軽水炉内では核燃料から放出された放射線 (γ 線並びに中性子) により炉水が放射線分解して酸素や過酸化水素が生成します。沸騰水型原子炉 (BWR) では、これらの酸化性の化学種が、構造材料として使用されているステンレスやニッケル基合金の粒界応力腐食割れ (IGSCC) の発生進展の環境要因になっていることが広く知られています。

一方、原子炉内にも構造上「隙間」となることが避けられない部位があります。隙間腐食の発生条件を満たすと、隙間内における腐食反応が促進されるため、引張り応力が存在すると、隙間の内部を起点として IGSCC の発生進展が加速する場合がありますと考えます。しかしながら、隙間が IGSCC の発生進展を加速する機構、さらに放射線が隙間に対して及ぼす影響についての知見が不足していました。

本研究は、放射線照射下での IGSCC の起点となり得る隙間の間隔の検討を目的とし、 γ 線照射が可能な高温高圧水実験装置を用いて BWR 環境を模擬した条件下での隙間腐食試験を行いました。この時、隙間腐食として隙間表面で発生する粒界腐食 (IGA: 本研究ではステンレス鋼の粒界が選択的に腐食すること) に着目し、隙間の種々の条件と IGA 発生 の関係を調べました。尚、ここでは、隙間は 2 枚の平行平板の間隔で代表しています。その結果、IGA すなわち隙間腐食に及ぼす放射線および隙間の形状の影響を以下のように定量化することができました。得られた成果の概要を以下に示します。

1) 放射線照射下での高温水中隙間腐食試験技術の確立

隙間内表面での IGA の発生有無を指標にして、浸漬時間、隙間腐食試験片の隙間間隔、隙間内への鉄酸化物の充てん有無、鋼種（304 ステンレス鋼、316L ステンレス鋼）および γ 線照射の有無をパラメーターに、BWR 運転温度（288℃）で硫酸によって導電率を $100\ \mu\text{S/m}$ まで上昇させた条件で隙間腐食試験を行った。その結果、IGA が発生する閾値が隙間間隔にあり、本実験条件では 0.2mm が IGA 発生 の 閾値であった。IGA の発生 の 閾値は鋼種に無関係で、隙間内への鉄酸化物の充てんあるいは γ 線照射により加速された。

2) 隙間内の腐食電位の測定

γ 線非照射条件で隙間試験片内部の腐食電位（ECP）を測定[2]し、1) で検討した IGA の発生条件と ECP の関係を調べた。隙間外部の ECP が 0VvsSHE（標準水素電極電位に対する電位）の条件下で、隙間間隔が閾値（0.2mm）以下では隙間内部の ECP が -0.6~-0.4VvsSHE まで大きく低下[3]し、隙間内外での局部電池形成が隙間腐食発生機構であることを明らかにした。

3) 隙間内環境への放射線の影響

γ 線照射は IGA 発生を時間的に加速するだけでなく、IGA 発生点の分布を隙間の深さ方向に空間的にも広げることが示された。このような γ 線の隙間腐食加速効果は、 γ 線照射下で隙間内部に高酸化性の環境で生成するヘマタイトが見られたことに基づき、水の放射線分解で生成[4]する強酸化性の OH ラジカルがステンレスから溶出した 2 価の鉄イオンを 3 価へ酸化し、腐食表面での 2 価の鉄イオンの活量[5]が減少することで発現すると結論した。

以上の検討結果は、BWR のような放射線の存在する環境下で使用する構造物における設計上避けられない隙間構造に対して、IGA の感受性を低減する形状に関する設計面での寄与が期待できると考えます。

参考文献

- [1] N. Ohnaka, S. Shoji, E. Kikuchi, A. Minato, H. Ito, “Effects of environmental factors on the IGSCC susceptibility of sensitized SUS 304 stainless steel in high temperature water”, Boshoku-Gijutsu, Vol. 32, pp. 214–220 (1983)
- [2] Y. Wada, K. Ishida, M. Tachibana, M. Aizawa, M. Fuse, “Hydrazine and hydrogen coinjection to mitigate stress corrosion cracking of structural materials in boiling water reactors (VII)—effects of bulk water chemistry on ECP distribution inside a Crack”, J. Nucl. Sci. Technol., Vol. 44, pp. 1448-1457, Nov. 2007.
- [3] Y. Wada, A. Watanabe, K. Ishida, M. Tachibana, N. Shigenaka, N. Kawashima, M. Aizawa, “Local

radiolysis and electrochemical corrosion potential in crevice environment”, Proc. of the 9th Int'l Radiolysis, electrochemistry and material performance workshop, Sep. 28 2012, Paris (France) [CD-ROM]

- [4] Y. Wada, A. Watanabe, K. Ishida, M. Tachibana, M. Aizawa, and M. Fuse, “Intergranular stress corrosion cracking initiation model of austenite stainless steels used in BWRs for optimized water chemistry control”, J. Nucl. Sci. Technol., Vol. 50(5), pp. 546-555, May 2013
- [5] M. Tachibana, K. Ishida, Y. Wada, R. Shimizu, N. Ota, N. Hara, “Determining factors for anodic polarization curves of typical structural materials of boiling water reactors in high temperature–high purity water”, J. Nucl. Sci. Technol., Vol. 49(2), pp. 253–262, Feb. 2012