

沸騰水型軽水炉用合金材料における応力腐食割れのメカニズム研究のための 高温高压水中 In-situ 実験

Study on the mechanism of stress corrosion cracking in the alloys under the environment of BWR.
-In-situ experiments under high temperature and high pressure water environment-

米澤 利夫¹⁾

Toshio YONEZAWA

渡邊 真史¹⁾

Masashi WATANABE

庄子 哲雄¹⁾

Tetsuo Shoji

菫蒲 敬久²⁾

Shobu TAKAHISA

¹⁾東北大学 ²⁾原子力機構

(概要)

軽水炉の高温高压水環境下での「鋭敏化によらない応力腐食割れ」の機構解明のためには、まず表面での酸化挙動を実験的に解明する必要がある。本課題では、これまで開発してきた放射光回折実験専用オートクレーブと BL22XU の設備を使って In-situ 実験を行い、酸化終了後に行う ex-situ 実験などの結果との違い留意しつつ、酸素濃度などの水質が酸化皮膜の生成にどのような違いを及ぼすか検討を行った。

キーワード:

鋭敏化、応力腐食割れ、軽水炉用材料、オーステナイト系ステンレス、In-situ 実験、X 線回折

1. 目的

通常的环境下では腐食を生じにくいとされるオーステナイト系ステンレス鋼であっても、軽水炉中の高温高压水中環境下では応力腐食割れが生じる事がある。その機構として合金中の結晶粒界近傍における Cr 欠乏層生成に伴う粒界腐食、すなわち「鋭敏化による応力腐食割れ」を想定した対策材の開発がこれまで進められてきた。しかしながら、近年、「鋭敏化によらない応力腐食割れ」が発見されたことから、その発生機構の解明が急がれている。そこで、これまで我々は応力・動的ひずみ加速酸化機構がき裂進展の本質である可能性について、実験/理論両面にわたる研究を推進してきた。

このような研究の過程においては、表面酸化被膜の構造やその形成過程の観察を可能な限り現実に近い条件下で観測する実験が不可欠であると考えられる。非破壊という点では、試験片を酸化後に大気中にとりだして行う Ex-situ 実験が可能である。しかし、Ex-situ 実験はあくまでも事後的な解析であり、応力腐食割れが起きる環境下とは異なるものである可能性を否定できない。従って、高温高压水中の応力負荷環下での In-situ 実験を行い Ex-situ 実験と対照することが必要となる。そこで、我々はこれまで JAEA の BL22XU で軽水炉冷却水模擬環境下 In-situ 実験を実現するべく BL22XU で装置の開発・改良および実験ノウハウの蓄積を行いつつ、テスト計測を行ってきた。本稿では、2010B 期における進展について報告する。

2. 方法

本課題では、BL22XU の水平振り 4 軸回折計を用い、X 線回折実験を試みた。計測の対象となるノッチ付きの試験片は専用オートクレーブ内部に収められ、沸騰水型原子炉を模擬した環境下で酸化しつつ計測を行えるようにした。入射 X 線は専用オートクレーブの上流側に設けられた人工ダイヤモンド製の窓から試験片に入射し、回折 X 線が下流側人工ダイヤモンド

製窓から出射する構造となっている。この専用オートクレーブを搭載するために、水平振り4軸回折計から χ クレイドルと ϕ 軸を撤去し、 ω 軸ステージ上に x y 並進ステージを増設した状態で使用した。入射X線は、エネルギーは20keVのものをミラーで集光し、さらにビームサイズを発散スリットで約 $50 \times 1000 \mu\text{m}^2$ 程度に制限して使用している。なお、ビームサイズは入射角および試験片のノッチ底部の計測対象エリアのサイズなど応じて適宜調整した。 ω 軸を調整することにより、試験片表面へのX線入射角を変えることができ、これによりX線の試験片への侵入深さを変化させている。

3. 研究成果

これまでの我々の測定によって、In-situでも結晶系の異なる2種類の表面酸化物の存在を確認することができ、大気中とIn-situ環境中ではhematiteやmagnetiteなど複数種類の酸化物の間での強度比に変動が起きる場合があるなどが観測されている。さらに、これら酸化物の存在比には、水質依存性がある可能性が認められ、より詳しい系統的測定が必要となった。そこで本課題では、溶存酸素を2 ppmの条件下でFeイオン源として316Lステンレス鋼メッシュを試験片とともに同梱した場合のほか、溶存酸素を13 ppmや5 ppb以下にした場合についても測定を行い、表面酸化物の存在比を比較した。

その結果、Feイオン源を追加した場合に存在比が増大する酸化物が存在し、その酸化物は溶存酸素を5 ppb以下にして42日程度浸漬した場合には再び消滅すること、溶存酸素を13 ppmとした場合には、Feイオン源を追加しなくともより安定に存在ことなどが明らかになった。

4. 考察

これらのことは、酸化物の存在比が水質の変化に敏感に反応し、かつ、その酸化挙動の正確な情報はIn-situ測定でなければ得ることはできないことを裏付けている。今回の課題では、溶存酸素とFeイオン濃度に関して酸化物の存在比に与える影響について情報を得ることができたが、今後さらに水素イオン濃度や応力の影響等を系統的に調べることが必要である。この点に留意しつつ、今後の課題でさらなるデータの蓄積を行い、応力腐食割れと酸化物生成の関係について総合的に検討していく予定である。