

BWR 炉心安全性向上のための SiC 材料適用に向けた研究開発 (4) 耐食被覆を施した模擬端栓接合部および被覆管の気密性

R&D for introducing silicon carbide materials to safety improvement of BWR's core

(4) Hermeticity of simulated end-plug-joint and cladding with corrosion resistant coatings

*石橋 良¹, 木田 美津子¹, 柴田 昌利¹, 近藤 貴夫¹, 山下 真一郎², 川西 智弘², 深堀 智生²

¹日立 GE ニュークリア・エナジー, ²日本原子力研究開発機構

事故耐性の高い炭化珪素製燃料被覆管を軽水炉に適用する際の課題となっているシリカ溶出を抑制することを目的に、炭化珪素および接合部への耐食被覆技術検討の一環として端栓接合炭化珪素管に耐食被覆を施工した試験片を作製し、ヘリウムリーク試験により気密性を確認した。

キーワード：軽水炉，事故耐性，燃料被覆管，炭化珪素，被覆

1. 緒言

従来の Zr 合金と比べて水素発生速度及び水蒸気酸化の反応熱が低い炭化珪素 (SiC) は事故耐性燃料材料として有望である一方で、SiC を燃料被覆管及びチャンネルボックスに実際に適用するにあたっては多くの課題が存在すると考えられており、その一つが高温水腐食である¹。高温水腐食によって SiC から炉水にシリカが溶出すると炉水内シリカ濃度を管理値内に抑えるため、浄化系の負荷が増加する可能性がある。そこで、沸騰水型原子炉通常炉内水質環境での SiC の耐食性向上を目的に、SiC 基材に対する耐食被覆技術を検討してきた^{2,3}。本検討では、端栓を接合した SiC 管を対象に耐食被覆の施工性と接合部の気密性を確認するため、He ガスを封入した接合試験片に耐食被覆を施した試験片を作製し、ヘリウムリーク試験により気密性を評価した。

2. 検討方法

2-1. 試験片の作製

SiC 複合材料の表面に化学気相蒸着により高純度なモノリシック SiC を被覆した管 ($\phi 10 \times 100$ (mm)、厚さ約 1.2 mm) の両端に、SiC 焼結材の表面と同様にモノリシック SiC を被覆した端栓 ($\phi 10 \times 50$ (mm)) を Si ロウ付け法により接合して、管内に He ガスを封入した。管と端栓には接合前に、Ti を主成分とした厚さ 10 μm 程度の被覆を物理蒸着とそれに続く熱処理により成膜した (以下、蒸着 Ti 被覆)。成膜の際に接合時の熱影響を考慮して、蒸着 Ti 被覆の範囲を接合部から離れた。接合部には、減圧プラズマ溶射法により Ti を主成分とした厚さ 200 μm 程度の被覆を施した (以下、溶射 Ti 被覆)。

2-2. ヘリウムリーク試験

真空容器内に試験片を装填して圧力 2.7×10^{-3} Pa 以下に減圧後、真空ポンプによる排気を止めてガス漏洩検出器に接続し、磁場 90 度偏向型質量分析管によりガス漏洩速度を計測した。ガス漏洩速度は 120 s 計測して平均値を算出した。参照のため、He ガスを封入していない試験片を用いて、前後に試験を実施して測定系のバックグラウンドを評価した。

3. 結果と考察

接合前の管および端栓に対する蒸着 Ti 被覆の成膜、ならびに、接合後の接合部に対する溶射 Ti 被覆の成膜によって、試験片 ($\phi 10 \times 200$ (mm)) の表面全体に耐食被覆を施すことができた。X 線回折法により蒸着 Ti 被覆の構成相を分析した結果、熱プロセスである接合および溶射施工によって炭化物および金属間化合物の顕著な増加はみられず、主に Ti 相により構成されていた。

3 本の試験片に対してヘリウムリーク試験を実施した結果、ガス漏洩速度は $1.3 \times 10^{-10} \sim 1.8 \times 10^{-10}$ Pam³/s を示し、短管ではあるものの原子炉燃料体に対する技術基準⁴)に規定される 3.04×10^{-9} Pam³/s を超えないことを満足した。前後の He ガスを封入していない試験片を含めたガス漏洩速度は、試験毎に単調に減少していたことから、計測されたガス漏洩速度はバックグラウンドの値に相当し、He ガスの漏洩速度はさらに低いと評価された。

謝辞 本件は、経済産業省資源エネルギー庁の平成 30 年度原子力の安全性向上に資する共通基盤整備のための技術開発事業 (安全性向上に資する新型燃料の既存軽水炉への導入に向けた技術基盤整備) の成果である。

参考文献

- [1] Y. Katoh, K. A. Terrani and L. L. Snead, ORNL/TM-2014/210, (2014).
- [2] 石橋, 岡本, 石田, 近藤, 宮崎, 日本原子力学会 2017 年春の年会予稿集, 2J15, (2017).
- [3] 石橋, 池側, 田邊, 近藤, 山下, 深堀, 第 65 回材料と環境討論会予稿集, D-309, (2018).
- [4] 平成二十五年原子力規制委員会規則第七号実用発電用原子炉に使用する燃料体の技術基準に関する規則

*Ryo Ishibashi¹, Mitsuko Kida¹, Masatoshi Shibata¹, Takao Kondo¹, Shinichiro Yamashita², Tomohiro Kawanishi², and Tokio Fukahori²

¹Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd., ²Japan Atomic Energy Agency