

改良ステンレス鋼燃料被覆管の BWR 装荷に向けた研究開発 (3)

4) 溶接法・検査方法の検討

R&D of advanced stainless steels for BWR fuel claddings (3)

4) Welding and inspection

*木村 晃彦¹、山崎祐希¹、藪内 聖浩¹、坂本 寛²、山下 真一郎³、草ヶ谷和幸⁴

¹京都大学、²NFD、³JAEA、⁴GNF-J

改良ステンレス鋼製燃料被覆管の製造・加工のうち、接合技術に関する技術成熟度及び課題を検討した。また、照射燃料製造と品質検査技術への影響評価に必要となる欠落データとなっている被覆管接合部の品質検査として、改良ステンレス鋼に対し、被覆管に採用されている EB 溶接法を用いて被覆管端栓接合処理を行い、接合組織や接合強度、さらには作製した被覆管端栓接合部の X 線 CT 検査を実施し、接合強度と検査結果との相関性を調べた。調査結果に基づき、被覆管端栓 EB 接合条件について検討した。

キーワード：事故耐性、燃料被覆管、酸化物分散強化フェライト鋼、EB 溶接、X 線 CT 検査

1. 緒言

軽水炉事故耐性型燃料被覆管の開発においては、接合技術が重要な技術開発項目とされている。本研究では、ODS 鋼被覆管の端栓溶接法として従来の被覆管に採用されている EB 溶接法を用いて端栓溶接被覆管の端栓接合強度を評価し、さらに端栓部に対し X 線 CT 検査を実施して接合強度と接合組織の相関を調べ、被覆管端栓接合条件について検討することを目的とする。

2. 実験方法

ODS 鋼の管材と端栓用材料 (FeCrAl 鋼) を用いて EB 溶接を行い、その破断強度を調査した。用いた ODS 鋼は、Fe-12Cr-6Al-ODS 鋼であり、熱間押し出し材の室温における降伏応力および最大引張応力は、それぞれ 900MPa および 1100MPa である。一方、管材は再結晶処理を施しており、この ODS 鋼に関しては再結晶化が進み、強度がやや低下している。溶接接合部の強度要件については、燃料ふるまい解析 (9×9 燃料 (A 型) の場合) 結果に基づき、端栓部の接合強度要件について耐震強度を考慮して検討した。

3. 結果

- (1) EB 溶接試験体の室温における引張試験を実施し、破断強度および破断ひずみを調べた結果、破断強度と破断ひずみは被覆管端栓材料の種類や EB 溶接条件に依存し、それぞれ 400MPa から 730MPa、2% から 7% の値を示した。
- (2) 高い破断強度を示した溶接試験体の端栓材料は非 ODS 鋼であり、接合部には酸化物粒子は存在しないが、接合部はいわゆる「肉盛り」状態にあることから、当該試験体の高い接合強度は荷重負荷面積の増大によるものであり、EB 溶接条件設定の方針を定めることができた。
- (3) EB 溶接条件のうち、加速電圧および溶け込み深さは、接合強度に顕著な影響を与える。
- (4) 軽水炉における燃料棒の内圧評価結果に基づき、ODS 鋼燃料被覆管の端栓接合部の強度要件について調べた結果、溶接接合部の管長手方向の引張耐力としての要件は、0.46G (450gal) の加速度を考慮すると約 165 MPa と評価された。
- (5) H27 年度から 29 年度にかけて検討した X 線 CT 検査結果と引張試験結果から、加速電圧を 60 ないし 100kV の範囲で制御することならびに溶接に伴う減肉を抑制することで、400MPa 以上の接合強度を持ち、溶接欠陥のサイズが数十 μm 以下の溶接試験体を作製することが可能であることが判明した。これらの結果に基づき、接合強度の工程管理が可能となる見通しが得られた。

本研究発表の一部は、経済産業省資源エネルギー庁の平成 29 年度発電用原子炉等安全対策高度化技術基盤整備事業 (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。

*Akihiko Kimura¹, Yuki Yamasaki¹, Kiyohiro Yabuuchi¹, Kan Sakamoto², Shinichiro Yamashita³, and Kazuyuki Kusagaya⁴

¹Kyoto Univ., ²NFD, ³JAEA, ⁴Global Nuclear Fuel Japan