

ジルカロイ-4 被覆管の照射成長に及ぼす水素吸収の影響

Effect of hydrogen absorption on irradiation growth of Zircaloy-4 cladding tube

*垣内 一雄¹, 天谷 政樹¹

¹ 日本原子力研究開発機構 (JAEA)

ジルカロイ-4 被覆管から調製した試験片をハルデン炉にて PWR 冷却材条件下で照射し、腐食に伴い被覆管に吸収された水素が照射成長挙動に及ぼす影響を調べた。照射時の水素吸収量が照射温度における固溶限を超え水素化物として析出した場合、析出しない場合に比べ照射成長量が大きくなる傾向を示した。

キーワード: PWR、ジルカロイ-4、被覆管、照射成長、腐食、水素吸収

1. 緒言

原子力機構安全研究センターでは、原子力規制庁からの委託事業として、PWR 燃料集合体の長期使用時の寸法安定性を把握するために改良ジルコニウム合金を含む種々の PWR 用燃料被覆管材料を対象とした照射成長試験をノルウェー・ハルデン炉にて実施してきた。本研究では、従来材であるジルカロイ-4 (Zry-4) 被覆管について、腐食に伴い被覆管に吸収された水素が照射成長挙動に及ぼす影響を評価した。

2. 試験条件

照射試験に供した試験片の特性を表 1 に示す。再結晶焼鈍熱処理 (RX) 後の Zry-4 被覆管 (製造時の Q 値 (圧延時の肉厚減少率と直径減少率の比) は 2 及び 4) に対して約 200ppm または約 400ppm の水素をオートクレープ処理で予め吸収させた。これらの被覆管から、軸方向を長手方向としたクーポン状の試験片を切断採取し本照射試験に供した。ハルデン炉に設置された水ループ (冷却材圧力 15.5MPa) 内で 573 及び 593K の加圧水型軽水炉 (PWR) 模擬水化学条件下で、高速中性子照射量約 8×10^{25} (1/m², E>1MeV) まで照射した。本照射試験期間中には定期的に照射リグから試験片を取出して長さ及び重量測定を実施し、照射前の試験片長さを基準として照射成長量を、照射前後の重量変化から腐食増量を評価した。また、照射試験後の一部の試験片について断面金相観察及び水素分析を実施した。

表 1 照射試験に供した Zry-4 試験片

照射温度	Q 値	予め吸収させた水素量		
		処理無し	200ppm 処理材	400ppm 処理材
573K	2	○	○	
	4	○	○*	
593K	2	○*	○	○
	4	○		○*

* 照射試験後破壊試験 (金相観察、水素分析) に供した試験片

3. 結果及び考察

照射温度 593K における照射成長量の測定結果を図 1 に示す。同図には腐食増量、水素吸収の増分 (照射前後の水素分析値の差) の値を併せて示す。水素吸収させていない試験片では照射成長挙動に及ぼす Q 値の影響は認められなかった。また、照射試験前に予め水素を吸収させた試験片の照射成長量は水素吸収させていない試験片よりも大きい傾向を示し、水素を約 200ppm 吸収させた試験片の腐食増量 (77mg/dm²) は他試験片と比較して小さい傾向を示した。照射試験後の試験片の断面金相観察の結果から、後者の傾向は、照射試験前に行った水素吸収処理の際に形成された酸化膜 (厚さ約 3 μm) が腐食を抑制したことに起因していると考えられた。照射成長量、腐食増量及び水素吸収量の相関を調べた結果、照射試験時の腐食に伴って発生し吸収された水素が照射温度における固溶限 (593K で約 90ppm) を超え水素化物として析出する量に応じて、照射成長量が増加する傾向があった。以上より、燃料被覆管の照射成長量の評価において、照射中に被覆管で生じる水素の固溶及び析出挙動を考慮することの必要性及び重要性が示された。

本研究は原子力規制庁の令和 2 年度原子力施設等防災対策等委託費 (燃料破損に関する規制高度化研究) 事業として行われたものである。

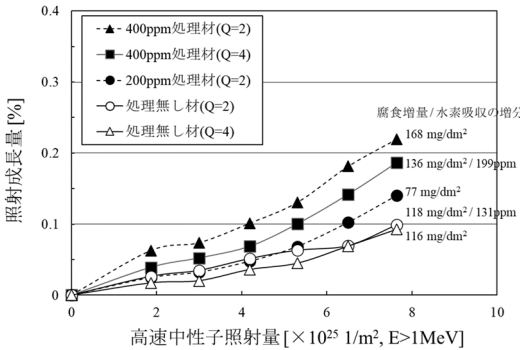


図 1 照射温度 593K における照射成長量測定結果

*Kazuo Kakiuchi¹ and Masaki Amaya¹

¹ Japan Atomic Energy Agency (JAEA)