

事故時高温条件での燃料健全性確保のための ODS フェライト鋼 燃料被覆管の研究開発(3)

(7)熱時効影響評価 (熱時効硬化・脆化)

R&D of ODS ferritic steel cladding for maintaining fuel integrity at accident condition (3)

(7) Thermal aging effects (Age-hardening/embrittlement)

*藪内聖皓¹, 木村晃彦¹, 鳥丸忠彦², 鶴飼重治³, 大野直子³, 皆藤威二⁴, 林 重成⁵

¹京都大学, ²NFD, ³北海道大学, ⁴JAEA, ⁵東京工業大学

事故耐性燃料被覆管として開発されている FeCrAl-ODS フェライト鋼の熱時効硬化・脆化挙動を調べた結果、通常のフェライト鋼に比べ、ODS 鋼では熱時効硬化に伴う引張伸びの減少が抑制され、475°C/10,000h 時効材においても引張均一伸びは数%を示すことが判明した。

キーワード：酸化物分散強化鋼，熱時効，475°C脆化，硬さ試験，引張試験，衝撃試験，イオン照射

1. 緒言

燃料被覆管の高温水や高温水蒸気中における耐食性および耐酸化性の向上は、事故時の被覆管と冷却水との反応速度を低下させ、水素発生を抑制するため、事故耐性燃料被覆管として期待されており、候補材として高 Cr-高 Al-ODS 鋼が提案されている。一方、高 Cr フェライト鋼では熱時効脆化が従来からの課題であると共に、高 Al 化による脆化も懸念されている。本研究では、成分の異なる高 Cr-高 Al-ODS 鋼の熱時効に伴う強度特性変化を調べ、 α/α' 相分離挙動に及ぼす Al 添加効果を明らかにする。

2. 実験方法

Cr および Al の濃度を変化させた(12,15,18 wt%)Cr-(0,5,7,9 wt%)Al-ODS 鋼の受け入れ材および再結晶材に対し、硬さ試験、引張試験片および衝撃試験を熱時効処理前後に実施した。熱時効処理は、温度を 300°C、475°C および 700°C とし、試験片を真空 (1×10^{-3} Pa) 封入し、最長 1 万時間まで実施した。ビッカース硬さ試験を室温、負荷荷重 200g で実施した。引張試験は室温で行い、ひずみ速度を $6.7 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ とした。衝撃試験は、1.5CVN ($1.15 \times 1.5 \times 20 \text{ mm}^3$) 試験片を用いて、落重型計装化衝撃試験機を用いて行った。

3. 結果

Al 添加効果は、Cr 濃度に依存し、Cr 濃度が 12wt.% の時、時効硬化・脆化を促進するが、Cr 濃度が 18wt.% の時は逆に抑制し、18Cr-9Al-ODS 鋼(5000 時間時効材)において相分離は観察されなかった。Al 添加による熱時効脆化の促進は Fe/Cr 二相分離あるいは Fe_3Al 金属間化合物の形成によると考えられる。一方、18Cr-ODS 鋼における Al 添加による熱時効脆化の抑制は、TEM 観察によれば二相分離の抑制による。さらに、イオン照射 (300°C, 475°C/10 dpa) による Fe/Cr 相分離の促進は認められなかった。

ODS 鋼においては、熱時効硬化に伴う引張伸びの減少が極めて小さく、10,000 時間時効 (飽和) 後でも均一伸びは 7%以上を示した。一方、1.5mm 角 CVN 衝撃試験からは、5000 時間熱時効材で DBTT が室温以下の材料は、12Cr-0,5,7Al 材および 15Cr-5,7Al 材である。また、二相分離はイオン照射 (475°C, 10dpa) により促進されなかったが、中性子照射下における挙動を確認する必要がある。

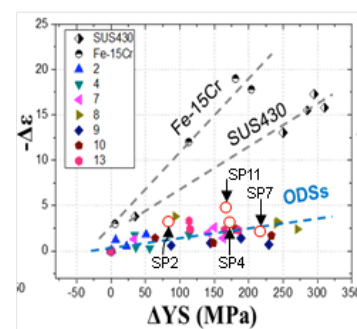


図1: 時効硬化と伸びの変化の関係。○は再結晶材で、その他は全て受け入れ材。

本研究の一部は、文部科学省の原子力システム研究開発事業による委託業務として、国立大学法人北海道大学が実施した平成 25～28 年度「事故時高温条件での燃料健全性確保のための ODS フェライト鋼燃料被覆管の研究開発」の成果である。

* Kiyohiro Yabuuchi¹, Akihiko Kimura¹, Tadahiko Torimaru², Shigeharu Ukai³, Naoko Oono³, Takeji Kaito⁴, and Shigenari Hayashi⁵: ¹Kyoto Univ., ²Nuclear Fuel Development, ³Hokkaido Univ., ⁴Japan Atomic Energy Agency, ⁵Tokyo Institute Technology