

短軸引張ならびに A-EDC 試験下における Zr-Nb 合金の変形組織評価と照射影響

Deformation microstructure analysis of Zr-Nb alloy under uniaxial tensile and A-EDC test, and irradiation effect

*叶野 翔¹, 楊 会龍², 趙 子寿², 國井 大地², 牟田 浩明³, 村上 健太¹, 篠原 靖周⁴, 阿部 弘亨¹

¹東京大学, ²東北大学, ³大阪大学, ⁴ニュークリア・デベロップメント株式会社

抄録:

本発表は、文部科学省事業原子力システム研究開発事業「原子炉燃料被覆管の安全設計基準に資する環境劣化評価手法開発」の成果のうち、管の形状を有する材料の強度の評価手法開発と材料劣化機構に基づいた安全評価を目指し、Zr-Nb 合金の強度特性とその材料劣化影響を機械試験ならびに微細組織学的観点から評価した発表である。

キーワード：Zr-Nb 合金, 機械特性, 環境劣化, 照射影響

1. 諸言

軽水炉燃料被覆管は、高温、照射、腐食等の環境に晒されることで特性劣化が生じることから、通常運転及び異常過渡時における劣化挙動を適切に把握し、その健全性を適切に評価することが肝要ある。本発表では、高燃焼度化を想定して開発された先進燃料被覆管材料として研究開発が進められている Zr-Nb 合金に対し、高エネルギーイオン照射を行い、引張特性の照射影響を評価すると共に、当該材料の室温の引張試験下における変形組織の解明ならびに Nb 添加影響を明らかにすることを目的とした。

2. 実験方法

管状形状の Zr-2.5Nb ならびに Zr-1.8Nb に $\approx 50\%$ の冷間圧延と 853K x 86.4ks の再結晶化処理を施し、その後、打ち抜き加工によって平板状の引張試験片に加工した。これらの試料の一部を東北大学サイクロトロン加速器にて、573 K において 140MeV-C⁴⁺を照射した。

引張試験は室温 (298 K) にてひずみ速度 10^{-3}s^{-1} で行った。また、適当なひずみを付与した中断材を作製し、平行部における転位密度を XRD による Modified Warren-Averbach 法ならびに EBSD によって評価した。

3. 結果と考察

高エネルギーイオン照射した Zr-1.8Nb 合金の 0.2%耐力は照射量の増加に伴い増加したが、 >1 dpa で飽和することを確認した。また、照射量が >3 dpa では、転位チャネリングによって破断したが、この時の破断伸びは $\approx 13\%$ であった。これらより、当該材料の優れた耐照射特性を見出した。

一方で、XRD で評価した非照射材の単軸引張試験前の Zr-2.5Nb の転位密度は $1.72 \times 10^{14} \text{ m}^{-2}$ であり、この時、刃状とらせん型の転位密度はそれぞれ 0.8 と $1.0 \times 10^{14} \text{ m}^{-2}$ であった。また、ひずみ (ϵ) 付与に伴い転位密度が増加し、この時、刃状転位はひずみの増加に伴い増加するものの、らせん転位は $\epsilon > 8.0\%$ で減少することが分かった。なお、刃状とらせん型の転位密度の合計 (ρ_{Total}) が $\epsilon > 2.9\%$ で飽和傾向となり、この傾向と EBSD で評価した KAM 値が同様の傾向を示すことを確認した。

4. 結論

高エネルギーイオン照射した Zr-Nb 合金の引張特性評価により、当該材料の優れた耐照射特性を明らかにし、XRD 法による引張試験下における転位組織の詳細評価から、非照射材における変形組織発達特徴を明らかにした。なお、当日は A-EDC 試験下ならびに Zr-1.8Nb 合金の変形組織発達についても報告し、組織発達の Nb 添加影響および照射影響についても議論する。

5. 謝辞

本発表は、文部科学省からの受託事業として実施した原子力システム研究開発事業「原子炉燃料被覆管の安全設計基準に資する環境劣化評価手法に関する研究開発」の成果である。

Sho Kano¹, Huilong Yang², Zhao Zishou², Daichi Kunii², Hiroaki Muta³, Kenta Murakami¹, Yasunari Shinohara⁴, Hiroaki Abe¹

¹The University of Tokyo, ²Tohoku University, ³Osada University, ⁴NDC,