

炭素鋼製オーバーパックスの脆化予測に関する研究

(1) 炭素鋼の低温照射下での脆化挙動

A study for prediction of embrittlement of overpacks made of carbon steel

(1) Low-temperature irradiation embrittlement of carbon steel

*三浦照光¹、藤井克彦¹、福谷耕司¹、川久保政洋²

¹原子力安全システム研究所、²原環センター

炭素鋼とモデル合金に 90°C で Fe イオン照射と低照射速度の電子線照射を行い、マイクロ組織と硬さの変化を調べた。Mn や Si や Cu の濃度が高い場合や低照射速度の電子線照射ではクラスタの形成が促進され、硬化量も大きくなった。

キーワード: 炭素鋼、照射脆化、イオン照射、電子線照射、アトムプローブ分析、地層処分、オーバーパックス

1. 緒言

高レベル放射性廃棄物の地層処分に用いられるオーバーパックスは、極めて低い損傷速度 (9×10^{-16} dpa \cdot s⁻¹ 以下) で長期間に渡り照射される。オーバーパックスで想定される照射条件 (90°C 以下、最大 4.32×10^{-6} dpa [1]) における脆化量を予測するには、脆化因子となるマイクロ組織変化を実験と解析により推定し、マイクロ組織変化から硬さや破壊靱性値の変化量を推定する必要がある。本研究では、候補材料の一つである炭素鋼とそのモデル合金に 90°C で Fe イオンと電子線を照射し、マイクロ組織と硬さの変化に対する材料組成と照射速度および溶接の影響を調べた。

2. 試験

炭素鋼 (SM400B、低 Cu 炭素鋼 : 0.01%Cu、高 Cu 炭素鋼 : 0.5%Cu) と MAG 溶接材 (SF340A) とモデル合金 (Fe-0.2Si-1.1Mn-0.5Cu、Fe-0.5Cu) に東京大学重照射研究設備のタンデントロン加速器を用いて 90°C で 2.8MeV Fe²⁺イオンを照射した。損傷速度と照射量は、300nm 深さで 1×10^{-4} dpa \cdot s⁻¹ と 0.01~1dpa とした。また、高 Cu 炭素鋼と FeSiMn モデル合金に原子燃料工業 (株) の電子加速器を用いて 90°C で 5MeV 電子線を照射した。損傷速度と照射量は 2×10^{-8} dpa \cdot s⁻¹ と 0.01dpa とした。TEM 観察とアトムプローブ分析 (APT、CAMECALEAP3000XHR) でマイクロ組織を調べ、超微小硬さ試験機 (Elionix ENT-2100) で硬さを測定した。APT 分析は電圧モード、試料温度 50K、パルス比 0.15 で行った。

3. 結果

直径数 nm の転位ループと Mn, Si, Cu 原子が集まったクラスタを確認した。数密度はそれぞれ 10^{22} m⁻³ と $10^{22} \sim 10^{23}$ m⁻³ の桁であった。照射量が増しても転位ループの大きさと数密度の変化は小さく、材料組成や照射速度、溶接による明確な影響は認められなかった。クラスタについては、照射量が増すと数密度が増加し、Mn, Si, Cu 濃度が高い材料や溶接部、低照射速度の電子線照射では数密度が高くなった。クラスタ形成が促進される条件では硬化量も大きい傾向が認められた。硬化量 ΔH とオロワン機構に基づく転位ループとクラスタによるせん断強度の増加値 $\Delta\tau$ の関係を図に示す。硬化係数はそれぞれ 0.5 と 0.05 とした。マイクロ組織変化と硬化量の関係式として、 $\Delta H = 0.0094\Delta\tau$ を得た。本報告は経済産業省資源エネルギー庁からの委託による「平成 29 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る技術開発事業 (処分システム工学確証技術開発)」の成果の一部である。

参考文献

[1] 銅-炭素鋼複合オーバーパックスの試作, JNC TN8400 99-049, (1999).

*Terumitsu Miura¹, Katsuhiko Fujii¹, Koji Fukuya¹, Masahiro Kawakubo²

¹Institute of Nuclear Safety System, ²Radioactive Waste Management Funding and Research Center

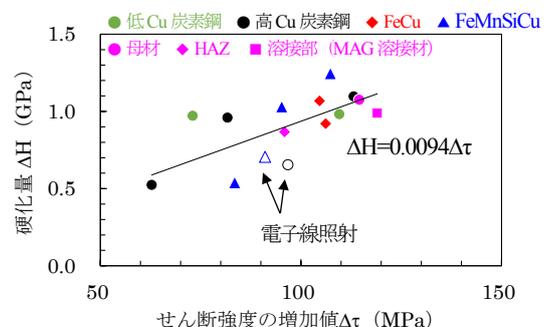


図 硬化量とせん断強度の増加値の関係