

引張応力下照射で低合金鋼に形成する溶質クラスタのアトムプローブ分析

Atom probe analysis of solute clusters in low alloy steels irradiated under tensile-stress condition

*藤井 克彦¹, 福谷 耕司¹, 埋橋 淳², 大久保 忠勝², 宝野 和博²

¹原子力安全システム研究所, ²物質・材料研究機構

照射により形成する溶質クラスタに対する引張応力負荷条件の影響を性能の異なるアトムプローブを用いて調べた。最大 80%および 40%以下の検出効率で観察される溶質クラスタは、応力下ではともに疎な集積状態であり、検出効率が溶質クラスタの性状の評価に大きく影響しないことが確認された。

キーワード：照射脆化、応力影響、溶質クラスタ、アトムプローブ検出効率

1. 緒言

ステンレス鋼の照射組織変化に対する外部応力の効果については、転位ループやボイドの形成を促進することが高温照射下クリープ等の研究から知られており、応力誘起優先吸収機構（SIPA）や応力誘起優先核生成機構（SIPN）等により説明される。しかし、低合金鋼の照射硬化のように溶質クラスタの形成を主とする照射組織変化に対する外部応力の効果はほとんど調べられていない。我々はこれまでにイオン照射試験により低合金鋼の照射変化を調べ、引張負荷応力の増加に伴い硬化量は減少し、溶質クラスタおよび転位ループのマイクロ組織の発達も抑制されることを報告した[1]。ただし、溶質クラスタの観察に使用したアトムプローブの原子の 3 次元位置情報の検出効率が 40%以下であり、引張応力下で形成する溶質クラスタの性状、例えば、溶質原子のクラスタへの集まり方など、については必ずしも結論を得ることができなかった。そこで、本研究では、原子の 3 次元位置情報の検出効率が最大で 80%である最新のアトムプローブを用いて溶質クラスタ観察を実施し、溶質クラスタの性状を比較検討した。

2. 方法

京都大学イオン照射設備 DuET で引張応力下照射ステージを用いて、250MPa の引張応力下で Fe イオンを 290℃で 1dpa 照射した Cu 含有量 0.16wt%の A533B 鋼に形成した溶質クラスタをアトムプローブ分析した。用いたアトムプローブは検出効率が最大 80%の CAMECA LEAP5000XS と 40%以下の EIKOS-X、LEAP3000XHR、レーザー補助広角 3DAP である。

3. 結論

各装置を用いたすべての測定において、Cu/Ni/Si/Mn が集積した微細な溶質クラスタ、いわゆる Cu リッチ析出物が高密度に形成していることが確認された。図には LEAP5000XS と EIKOS-X で観察された溶質クラスタの例を示した。橙の点が Cu であり、青が Si、緑が Ni である。応力なしの方がより中心に溶質原子が集積する傾向がある。検出効率によらず溶質原子のクラスタリングについて同じ傾向が得られた。なお、LEAP3000XHR とレーザー補助広角 3DAP でも同様な傾向が観察されており、溶質クラスタの性状の評価に検出効率は大きく影響しないことが確認された。

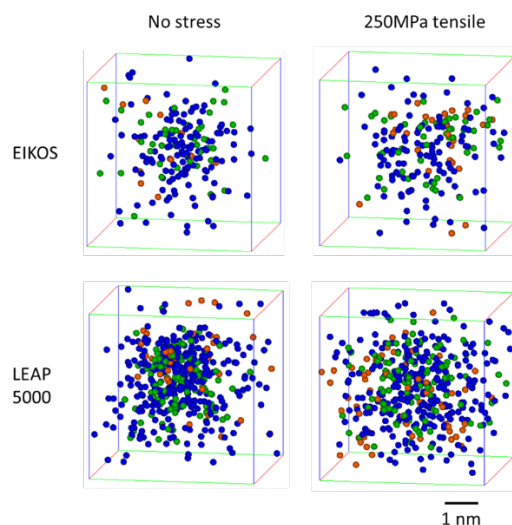


図 溶質クラスタの比較

*Katsuhiko Fujii¹, Koji Fukuya¹, Jun Uzuhashi², Tadakatsu Ohkubo² and Kazuhiro Hono²

¹ Institute of Nuclear Safety System, ² National Institute for Materials Science.

[1] K. Fujii, K. Fukuya, R. Kasada, A. Kimura, T. Ohkubo, "Effects of stress on radiation hardening and microstructural evolution in A533B steel," J. Nucl. Mater. 407 (2010) 151-156.