

## 超微小引張試験による実機ステンレス鋼溶接金属の引張特性評価

Evaluation of tensile property of stainless steel welds used in PWRs by micro-tensile testing

\*三浦 照光<sup>1</sup>, 福村 卓也<sup>1</sup>, 藤井 克彦<sup>1</sup>, 福谷 耕司<sup>1</sup>, 瀬戸 仁史<sup>2</sup>

<sup>1</sup>原子力安全システム研究所, <sup>2</sup>日本核燃料開発

フェライト相とオーステナイト相の引張特性を超微小引張試験により個別に評価し、熱時効条件下で中性子照射を受けた材料と受けていない材料での違いをアトムプローブと透過型電子顕微鏡で調べたマイクロ組織から検討した。両相とも照射による耐力増加が認められ、照射欠陥や溶質原子クラスターの形成量の違いと対応することが分かった。

**キーワード:** ステンレス鋼溶接金属、熱時効、照射脆化、超微小引張試験、アトムプローブ

### 1. 緒言

オーステナイトステンレス鋼の溶接金属は、軽水炉の運転温度条件ではフェライト相でスピノーダル分解と析出相の形成を生じ、熱脆化することが知られている。一方、炉内構造物で使用される溶接金属では、中性子照射が熱時効と重畳して脆化に影響する可能性が考えられるが、データは少なく、影響度や機構の理解は十分ではない。本研究では、PWRにて熱時効条件下で長期間使用されたステンレス鋼溶接金属のうち中性子照射を受けた材料と受けていない材料について、フェライト相とオーステナイト相の引張特性を超微小引張試験で個別に評価するとともに、マイクロ組織をアトムプローブ (APT) と透過型電子顕微鏡 (TEM) で調べ、引張特性とマイクロ組織の関係を検討した。

### 2. 試験

中性子照射を受けた材料は316鋼製シンプルチューブ (FTT) の304鋼製端栓のTIG溶接部であり、324°Cで111,000時間使用され、3 dpaまで中性子照射された。中性子照射を受けていない材料は主冷却材管 (MCP) のSCS14A製エルボと316鋼製セーフエンドの316LファイラーによるTIG溶接部であり、320°Cで92,000時間時効された。両材料のフェライト相とオーステナイト相から、ゲージ部寸法が $2.4 \times 0.3 \times 0.3 \mu\text{m}$ と $8 \times 1 \times 1 \mu\text{m}$ の超微小引張試験片 (以下、S型試験片とL型試験片) を集束イオンビーム (FIB) 加工で作製した。なお、S型試験片の寸法はフェライト相の幅 (約 $0.3 \mu\text{m}$ ) より決定した。フェライト相からS型を、オーステナイト相からは試験片のサイズ効果を検討するため、S型とL型の両方の試験片を作製した。FIB-SEM装置のマイクロプローブを用いて、同装置内で室温の引張試験を実施した。また、フェライト相とオーステナイト相のマイクロ組織をAPTとTEMで調べた。

### 3. 結果

フェライト相の応力-伸び線図を図に示す。FTT材では、MCP材よりも高い耐力と引張強さが認められた。フェライト相ではCrのスピノーダル分解と溶質原子クラスターの形成が両材料で確認され、FTT材では溶質原子クラスターの形成促進<sup>[1]</sup>と転位ループ等の照射欠陥の形成が認められた。照射によるスピノーダル分解の促進は明確には認められず<sup>[1]</sup>、フェライト相の照射硬化は照射欠陥と溶質原子クラスターの形成量の違いに対応すると考えられる。オーステナイト相についても同様の傾向が認められた。両材料ともにS型試験片はL型に比べて耐力が200 MPa高く、試験片のサイズ効果が認められた。

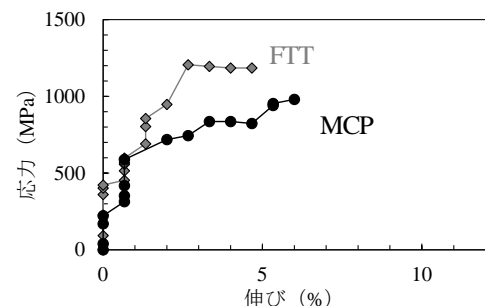


図 フェライト相の応力-伸び線図 (S型試験片)

### 参考文献

[1] K. Fujii, et al., Proc. 17th Int. Conf. on Environmental Degradation of Materials in Nuclear Power Systems – Water Reactors, CNS, 2015.

\*Terumitsu Miura<sup>1</sup>, Katsuhiko Fujii<sup>1</sup>, Takuya Fukumura<sup>1</sup>, Koji Fukuya<sup>1</sup> and Hitoshi Seto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Nuclear Safety System, <sup>2</sup>Nippon Nuclear Fuel Development