

**圧力バウンダリ構成部で使用されるステンレス溶接金属の  
熱時効脆化評価のための基盤技術開発**  
**(6) ステンレス鋼の熱時効硬化挙動ならびに照射材のミクロ組織調査**

Fundamental technology development for evaluation of thermally ageing embrittlement  
of stainless steel welds used as pressure boundaries in nuclear power plants

(6) Effects of thermal aging and neutron irradiation on microstructural changes of stainless steel welds

\*阿部 博志<sup>1</sup>, 渡邊 豊<sup>1</sup>, 平田一真<sup>1</sup>, 宮崎孝道<sup>1</sup>, 越石正人<sup>4</sup>, 堀内 寿晃<sup>2</sup>, 源 聡<sup>3</sup>

<sup>1</sup>東北大学, <sup>2</sup>北海道科学大学, <sup>3</sup>物質・材料研究機構, <sup>4</sup>日本核燃料開発

ステンレス鋼溶接金属の熱時効材について、フェライト相の硬さならびにミクロ組織を調査した。照射材を対象とした3次元アトムプローブ分析結果から、熱時効に中性子照射が重畳することで、単純熱時効条件と比較してスピノーダル分解ならびにG相形成が加速されることを支持する結果が得られた。

**キーワード：** オーステナイト系ステンレス鋼、溶接金属、熱時効脆化

### 1. 緒言

ステンレス溶接金属は長期間の運転により、ステンレス鋳鋼と同様に熱時効脆化を起こすことが懸念される。本研究では、ステンレス溶接金属の熱時効硬化挙動ならびにミクロ組織変化に及ぼす成分あるいは溶接条件の影響を評価するとともに、ステンレス鋳鋼について蓄積されてきた知見との比較により相違の有無を考察した。また、照射材を対象とした透過型電子顕微鏡 (TEM) ならびに3次元アトムプローブ (3DAP) を用いたミクロ組織調査に基づいて、熱時効硬化挙動への中性子照射影響の有無を評価した。

### 2. 実験方法

316L 鋼溶接試験体について、スピノーダル分解が優先して生じると考えられる 300°C 台前半の温度域を中心に最大で 12000 時間熱時効処理を行い、微小硬度計を用いてフェライト相の硬化挙動を評価すると共に、TEM 観察によりフェライト相内のミクロ組織変化を調査した。また、上記供試材について非照射・未時効材、非照射・時効 (275°C・8000 時間) 材、照射 ( $5 \times 10^{24}$  n/m<sup>2</sup>、 $2 \times 10^{22}$  n/m<sup>2</sup>)・時効 (275°C・8000 時間) 材の4種類を準備し、TEM 観察ならびに 3DAP 分析によりミクロ組織を調査した。

### 3. 結果及び考察

本研究の範囲内では、ステンレス鋼溶接金属とステンレス鋳鋼との間で、熱時効硬化挙動 (硬化速度ならびに最大硬さ) に大きな違いは無いと判断された。むしろ、鋼種 (すなわち  $\delta$  相成分) の影響の方がより大きいと考えられた。成分の観点からは、Mo が時効硬化の加速因子として働くことが示唆された。これは、これまで主にステンレス鋳鋼で報告されていた知見と整合する。照射材を対象とした 3DAP 分析においては、いずれの照射材においてもスピノーダル分解によるものと推察される Cr 濃度変調ならびに Ni-Mn-Si クラスタ (G 相前駆体) の形成が認められた。一方で非照射材においては、時効の有無によらず有意なミクロ組織変化は認められなかった。すなわち、熱時効に中性子照射が重畳することで、単純熱時効条件と比較してスピノーダル分解ならびに G 相形成が加速されることを支持する結果が得られた。

### 謝辞

本研究の一部は、「文部科学省 英知を結集した原子力科学技術・人材育成推進事業」により実施された「圧力バウンダリ構成部で使用されるステンレス溶接金属の熱時効脆化評価のための基盤技術開発」の成果である。

\*Hiroshi Abe<sup>1</sup>, Yutaka Watanabe<sup>1</sup>, Kazuma Hirata<sup>1</sup>, Takamichi Miyazaki<sup>1</sup>, Masato Koshiishi<sup>4</sup>, Toshiaki Horiuchi<sup>2</sup>, Satoshi Minamoto<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Tohoku Univ., <sup>2</sup>Hokkaido Univ. of Science, <sup>3</sup>National Institute for Materials Science, <sup>4</sup>Nippon Nuclear Fuel Development