原子炉圧力容器鋼の溶質原子クラスターの三次元アトムプローブ観察

財電力中央研究所 西田 憲二 土肥 謙次 野本 明義 曾根田直樹

Fig. 1 (a)高 Cu-RPV 鋼, (b)低 Cu-RPV 鋼の LEAP 観察結果および(c)それぞれのクラスターの平均組成.

Fig. 2 中 Cu-RPV 鋼中の Fe_3C 系炭化物の (a)LEAP 観察結果および (b)炭化物-マトリックス界面の元素濃度プロファイル.

三次元アトムプローブは材料のナノ組織を原子オーダーで観察できる手法である。局所電極型アトムプローブ(LEAP)の登場により⁽¹⁾、従来観察が困難であった非常に低密度のナノ組織の観察及び分析が可能になってきた。当所では原子炉圧力容器鋼(RPV)の中性子照射脆化機構の解明のための有力なツールとして LEAP を活用している⁽²⁾。

Fig. 1 (a)に比較的高い照射量($1 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2$ ($E > 1 \text{ MeV}$))まで中性子照射された銅含有量の高い(0.25 wt%)RPV 鋼の LEAP 観察結果を示す。銅、ニッケル、マンガン、シリコン、リンを含む溶質原子クラスターが高密度に形成されている。一方、Fig. 1(b)に銅含有量の低い(0.06 wt%)RPV 鋼の LEAP 観察結果を示すが、(a)と比較して非常に低密度であるものの明瞭に溶質原子クラスターが形成されている。Fig. 1(c)にそれぞれの鋼材に含まれるクラスターの平均組成を示す。銅含有量の低い鋼材中のクラスター中の構成元素はニッケル、マンガン、シリコンが主体であり、銅は非常に少ないことがわかる。このように銅含有量の低い鋼材であっても、銅以外の元素を主体とす

る溶質原子クラスターが形成されることが明らかとなり、クラスター体積率と機械的性質変化との関係から脆化メカニズムの本質に迫る研究が可能になってきた。

Fig. 2 (a)は銅含有量が中程度の RPV 鋼に含まれる炭化物の LEAP 観察結果を、Fig. 2 (b)は炭化物-マトリックス界面の元素濃度プロファイルを示す。この炭化物はセメントタイトに近い組成を有するが、マンガン、クロム、モリブデン等の添加元素も多く含む。特にマンガンは炭化物に多く偏析し、この結果マトリックス濃度はバルク濃度よりも低下している。実用鋼におけるマンガンの脆化への寄与の検討では、マトリックスマンガン濃度の検討が必要であることを示唆するものである。

文 献

- (1) T. F. Kelly and D. J. Larson: Materials Characterization, 44(2000), 59-85.
- (2) 曾根田直樹, 土肥謙次, 野本明義, 西田憲二, 石野 稔: 電力中央研究所報告, Q06019 (2007).

(2008年7月25日受理)

3-D Atom Probe Observation of Solute Atom Clusters in Reactor Pressure Vessel Steels; Kenji Nishida, Kenji Dohi, Akiyoshi Nomoto, Naoki Soneda (Central Research Institute of Electric Power Industry, Tokyo)

Keywords: reactor pressure vessel steel, neutron irradiation, irradiation embrittlement, atom probe, solute atom cluster

Irradiation Condition: High and low Cu RPV steels are irradiated to $1 \times 10^{20} \text{ n/cm}^2$ ($E > 1 \text{ MeV}$) and middle Cu RPV steel is irradiated to $3 \times 10^{19} \text{ n/cm}^2$ ($E > 1 \text{ MeV}$) at 560 K

3DAP specimen preparation: electropolishing 3DAP utilized: Imago LEAP 3000X Si Conditions: Voltage pulse, Temperature (50 K), Pulse fraction (15%)