

圧力容器鋼の照射誘起析出物形成過程の反応速度論解析

Rate Theory Modeling of Formation Process of Radiation Induced Precipitation in RPV steels

*中筋 俊樹¹, 阮 小勇¹, 森下 和功¹

¹京都大学

照射脆化を精度よく予測するため、照射脆化の要因である転位ループ、ボイドおよび銅リッチ析出物の核生成過程を厳密に取り扱った反応速度論モデルを構築した。転位ループ、ボイドおよび銅リッチ析出物の形成に関する照射条件依存性について議論した。

キーワード：照射脆化、原子炉圧力容器、反応速度論、銅リッチ析出物、照射相関

1. 緒言

軽水炉の圧力容器や炉内構造物、核融合炉の構造材料といった中性子の照射を受ける材料は、照射により硬化や寸法変化などの材料の機械特性が変化する。特に、軽水炉圧力容器鋼の照射脆化については、プラントの寿命を決める要因になりうるため、照射脆化を予測して事故の未然防止を図ることは重要である。

日本において代表的な照射脆化予測式は、JEAC4201-2007（2013年追補版）である。これは、日本の各商業軽水炉や試験炉で得られた脆化データを物理的理論に基づいた簡易予測式にフィッティングしたものであるが、その温度の適用範囲 270°Cから 290°Cと狭い。また、Yoshiie らのより厳密な反応速度論モデル^[1]では、2つの単空孔の集合体（サイズ2）が安定なボイド核（臨界サイズ）と仮定しているが、実際には臨界サイズは損傷速度や照射温度によって変化し、マイクロ構造変化に影響を与える^[2]。

そこで本研究では、幅広い照射条件において照射脆化を精度よく予測するため、照射脆化の要因である転位ループ、ボイドおよび銅リッチ析出物の核生成過程を厳密に取り扱った反応速度論モデルを構築した。

2. 数値解析方法

bcc 鉄中において、サイズ1から100の自己格子間原子（SIA）集合体およびサイズ1から最大140の銅-空孔複合体について反応速度式を立て、それぞれの欠陥集合体濃度の経時変化を得た。ここで、分子動力学法（MD）によって評価された欠陥集合体結合エネルギーのサイズ依存性の関係を用いることで、欠陥集合体の熱的安定性についても扱っている。

3. 結果および考察

図1は0.01dpaにおける銅-空孔複合体のサイズ分布の損傷速度依存性である。ここで、組成 α はクラスター中の銅原子の割合と定義した。ここから、同じ照射量でも損傷速度の違いにより欠陥の形成過程は異なることが分かる。低損傷速度であるほど、ボイドの形成がないこと、銅を半分含むクラスター（ $\alpha=0.5$ ）の形成量も少ないこと、銅のみのクラスター（ $\alpha=1$ ）は多く形成され、そのサイズが大きくなることが分かった。

参考文献

- [1] T. Yoshiie et al., NIM B, Vol. 352, pp. 125-129, (2015).
 [2] T. Nakasuji et al., EJAM, Vol. 7-2, pp. 160-165, (2015).

*Toshiki Nakasuji¹, Ruan Xiaoyong¹ and Kazunori Morishita¹

¹Kyoto University

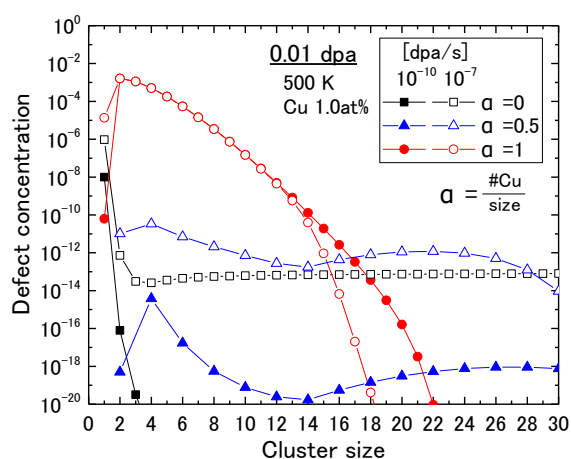


図1 銅-空孔複合体のサイズ分布の損傷速度依存性