

イオン照射したステンレス鋼モデル合金の機械的性質と微細構造変化に対する Si 添加の影響

Effect of Si addition on mechanical property and microstructural change
in ion irradiated stainless steel model alloys

*馬淵貴魁¹ 土井武志² 福元謙一³

¹福井大学 (院) ²現関西電力 ³福井大原子力研

イオン照射したオーステナイト系ステンレス鋼モデル合金に超微小硬度試験および TEM、APT 観察を行い、Ni-Si クラスタおよびフランクループに偏析する Ni-Si の照射硬化に対する影響の評価を行った。

キーワード：APT、TEM、照射誘起偏析

1. 背景と目的

ステンレス鋼の照射硬化要因として、透過電顕(TEM)によりフランクループやブラックドットなどの欠陥集合体が寄与するとされてきた。近年アトムプローブ(APT)観察から、TEM で観察される上記の歪みコントラストの欠陥集合体に対し、ナノサイズの Ni-Si クラスタ等が 10 倍以上の高密度に形成することが報告され、損傷組織と照射硬化の相関則に対して再検討されている。本研究では溶質クラスタおよびフランクループに偏析する溶質原子の照射硬化に対する評価を行った。

2. 実験方法

供試材には、Fe-17Cr-12Ni-1Si と Fe-17Cr-12Ni 合金を用いた。表面研磨・溶体化処理後、京都大学エネルギー理工研 DuET 施設にて Fe³⁺イオンを加速電圧 6.2MeV、200°Cの条件で 6.7dpa 照射した。FIB 加工でイオン照射領域断面試料を作製して TEM・APT 観察を行い、TEM 可視欠陥および Ni-Si クラスタの分布を測定した。また、超微小硬さ試験を実施し、溶質クラスタとループに偏析する溶質原子による硬化影響を評価した。

3. 結果

超微小硬度試験において Si 添加材では無添加材と比べ大きな硬化量が見られた。TEM 観察よりフランクループの密度に差が見られた。これはイオン照射において Si がフランクループの形成を抑制するためである^[1]。また、APT 観察より Ni-Si クラスタとフランクループに偏析する Ni, Si を確認した。TEM, APT 観察より得られたフランクループ、ブラックドット、Ni-Si クラスタの直径と密度の結果からオロワンの式を用いてそれぞれの硬化影響を算出し、Ni-Si クラスタの障害物強度 α を算出した。ブラックドットの硬化影響は小さく、主な硬化要因はフランクループと Ni-Si クラスタであり、Ni-Si クラスタの α は 0.073 であった。過去の文献^[2,3]より Ni-Si クラスタの α の値は 0.02~0.11 である。

Ni-Si クラスタの α が 0.073 より低いと仮定したとき硬化の余剰はループ偏析による影響であると仮定できる。この時、フランクループの硬化影響は偏析により 1.1~1.6 倍強化される。これらの結果から Ni-Si クラスタの硬化因子は一要素としては弱く高密度形成により照射硬化として現れ、フランクループへの Ni, Si 偏析は硬化への寄与を増大する可能性が示唆された。

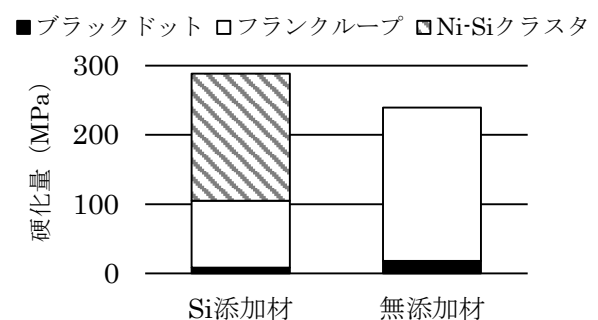


図1 各欠陥、クラスタの硬化影響

[1] Dongyue Chen, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B 365 (2015) 503–508

[2] Z. Jiao, J. Hesterberg, G.S. Wasg, J. Nucl. Mater. 526 (2019) 151754

[3] T. Toyama, Nucl. Mater. 418 (2011) 62–68

*Takaaki Mabuchi¹, Takeshi Doi², Ken-ichi Fukumoto³, Katsuhiko Fujii⁴

¹Fukui Univ, ²Kansai Electric Power ³Research institute for nuclear engineering, ⁴Institute of Nuclear Safety System