

照射オーステナイトステンレス鋼におけるマイクロ組織と機械的特性の相関に関する検討

Consideration of the correlation between microstructures and mechanical properties of irradiated austenitic stainless steels.

*瀬戸仁史¹, 橋内裕寿¹, 越石正人¹, 田中重彰², 豊田哲也³, 神長貴幸⁴, 原田賢⁴, 大木俊⁴
¹NFD, ²東芝, ³日立 GE, ⁴東電 HD

照射によって導入される照射欠陥の形成状況と機械的特性を調査し、それらの相関を検討した。

キーワード: 炉内構造物、照射硬化、照射後熱処理、マイクロ組織、TEM、機械的特性

1. 緒言

照射硬化は照射誘起偏析とともに照射誘起応力腐食割れ (IASCC) の要因の 1 つであると考えられており、それぞれの予測手法を組み合わせることで、炉内構造物ごとの IASCC 感受性予測手法の検討がなされている^[1]。著者らは、照射硬化が IASCC 感受性に及ぼす影響を調査するため、照射オーステナイトステンレス鋼に対し熱処理を施して照射硬化を回復させた後、様々な試験を行った。本発表では、左記試験のうちマイクロ組織観察と機械特性試験の結果、及び、既存の照射材試験データ (未熱処理材) と併せてマイクロ組織と機械的性質の相関を検討した結果を報告する。

2. 試験方法及び試験結果

供試材には、BWR の炉心領域において 1, 2, 6 サイクル照射されたオーステナイトステンレス鋼を用いた。供試材に対して、500°C で 1~60h の熱処理を行うことで照射硬化を回復させ、TEM によるマイクロ組織観察及び引張試験を行った。図 1 にマイクロ組織観察結果を、ブラックドット及び完全転位ループの場合を例として文献データ^{[2][3]}と併せて示す。熱処理材のマイクロ組織形成状況は未熱処理材のばらつきの範囲内にあることから、照射材特有の欠陥組織を保持しているといえる。

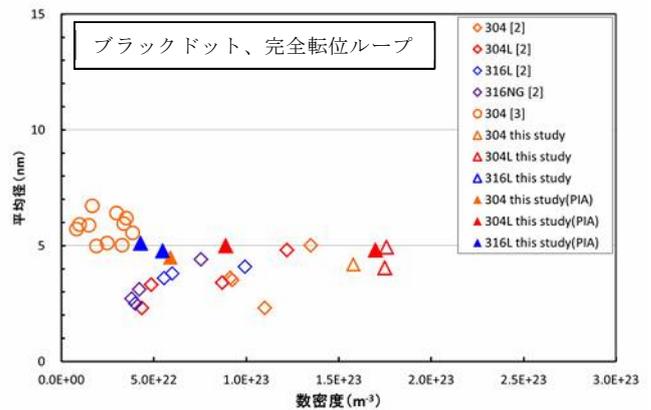


図 1 熱処理材と未熱処理材のマイクロ組織形成状況の比較

照射によるマイクロ組織変化と機械的特性との相関式として、式 1^[4]がよく用いられるが、近年 Tan ら^[5]によって照射欠陥のサイズによって強度因子 α の値を変化させる考え方が提案された (式 2, 3)。

$$\Delta\sigma_y = M\mu b \sqrt{\sum_i \{\alpha_i(N_i d_i)^{1/2}\}^2} \quad \dots \text{式1}$$

$$\alpha_{PP} = \frac{0.271A}{(1-v^2)^{1/2}\sqrt{ND}(16-\pi tA)} \ln\left(\frac{0.637D}{r_0}\right) \quad \dots \text{式2}$$

$$A = \sqrt{16\pi ND + 4ND^2} - \pi^2 NDt$$

$$\alpha = k_1 \ln(k_2 d) \quad \dots \text{式3}$$

M	テイラー因子
μ	剛性率
b	バーガースベクトルの大きさ
N	照射欠陥の数密度
D	照射欠陥の平均径
T	円盤状欠陥の厚さ
$k_{1,2}$	係数

上記の考え方にに基づき、本研究で得られたデータに文献データ^{[2][3]}を加えたデータセットを用いて、照射欠陥による転位運動の障害効果を検討した。マイクロ組織から求めた強度 ($\sigma_{y,calc}$) と引張試験結果 ($\sigma_{y,meas}$) との比較を図 2 に示す。図 2 より、 α を調整することにより照射欠陥の数密度と平均径から照射材の強度を精度良く見積もる事が可能であることが分かった。なお、熱処理材も未熱処理材のばらつきの範囲内に位置していることから、本報告の熱処理では材料や照射欠陥の傾向に大きな変化は生じず、当該熱処理材の IASCC 試験結果から照射材の IASCC 特性を評価可能と考えられる。

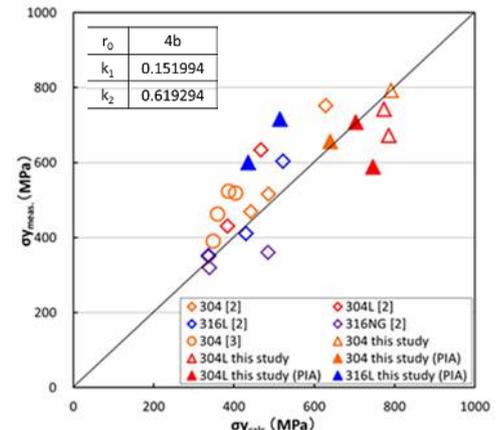


図 2 ミクロ組織観察結果から求めた強度*と引張試験結果との比較

*フランクリン組の α を式 2 を用いて計算。

ブラックドットと完全転位ループの α を 0.3 とした。

参考文献: [1] H. Seto et al., Proc. of Fontevraud 8. [2] 橋内ら、本会 2009 年秋の大会予稿集 [3] T. Torimaru et al., Journal of ASTM International, vol.2, No.8. [4] G. E. Lucas, JNM, 206, 287 (1993). [5] L. Tan and J. T. Busby, JNM, 465, 724(2015).

*Hitoshi Seto¹, Yuji Kitsunai¹, Masato Koshiishi¹, Shigeaki Tanaka², Tetsuya Toyota³, Takayuki Kaminaga⁴, Masaru Harada⁴ and Suguru Ooki⁴.

¹Nippon Nuclear Fuel Development Co., Ltd., ²Toshiba Corp. ³Hitachi-GE Nuclear Energy, Ltd. and ⁴Tokyo Electric Power Company Holdings, Inc.