

炉材料の強度及び微細組織に対する過酷事故時の熱影響の推定

(2) 事故熱影響を受けた炉材料などの強度及び微細組織の検討

Estimation of the annealing effect on strength and microstructure of LWR steels during severe accident
(2) Effects of heating on the strength and the microstructure of the reactor materials during severe accident

*野口 耕平¹、文元 太郎¹、山下 幸人¹、實川 資朗¹

1. 福島工業高等専門学校

イオン照射で欠陥を導入した 316 鋼を焼鈍すると、微細組織は焼鈍温度/時間に従い変化した。照射で導入された微細組織の焼鈍への応答を把握し定式化することで、事故過程解析に寄与できると考えている。

キーワード：福島第一原子力発電所，炉内機器，照射損傷，熱履歴，イオン照射，微細組織

1. 緒言

316 鋼などの炉内機器材料では、中性子の照射損傷により微細組織が変化する。この微細組織は、加熱により特徴的な変化を生じるとしばしば指摘される。これを用いれば、微細組織から事故時の熱履歴などを推定し得ると考えられる。この手法は、福島第一原発などでの過酷事故の解析に、さらに炉内機器の残存強度推定の手がかりにもなると考えられるため、微細組織変化と焼鈍条件の関係などを評価することにした。なお、TMI-2 では、圧力容器の温度履歴の推定に、硬さ及び微細組織が用いられた[1, 2]。

2. 実験方法

試料は 6mm × 3mm × 1mm の短冊状の 316 鋼 (0.013C-0.47Si-17.4Cr-12.6Ni-1.55Mn-2.5Mo-0.025P-0.001S-0.1N-Fe、Kobelco 製) とした。1100°C での溶体化処理後、バフ研磨、電解研磨(リン酸-硫酸-メタノール)にて仕上げ、量研機構高崎の TIARA 施設にて、10MeV の 3 価の鉄イオンと、1MeV のヘリウムイオンを 300°C で照射した。弾き出し損傷量を 1dpa、ヘリウムイオン量は、弾き出し損傷量との比で 10appmHe/dpa とした。照射後、400°C 以上で焼鈍し、FIB にて透過電顕試料を作製し、微細組織変化などを評価した。

3. 結果・考察

焼鈍後の微細組織を図に示す。比較的低い温度である 400°C での焼鈍でも、保持時間が 10000s では変化が見られ、転位ループの数密度は、焼鈍前の $4.5 \times 10^{23}/\text{m}^3$ 程度から半分程度に、大きさは 2 倍程度に変化した。同様な変化は、500 から 650°C の焼鈍でも、それぞれ 3000s から 300s 程度の保持時間で生じる。750°C では 1000s までの焼鈍で、転位ループの数密度は 1 桁程度減少した。なお、転位ループは格子間原子型と思われるが、焼鈍による転位ループの数密度の減少と、平均的な大きさの増加が同時に生じる機構は明瞭ではない(格子間原子の放出は考えにくい)。数密度と大きさ両方が同時に変化するため、数密度-大きさ関係から、焼鈍の温度と時間を独立に解析することは容易でないが、一方、事故解析から、水-Zr 反応などで燃料が熔融するほど高温となった期間は 2-3 時間程度に限られるようであり、従って、その期間での温度の推定には、今回の結果から示唆される方法は利用が可能と期待される(実際には、事故機からのサンプルへの適用が重要であろう)。一方、原子空孔のクラスターである積層欠陥四面体については、純銅では、「焼鈍での数密度の変化は限られるが大きさ分布が広がる」との報告があることを考慮すれば[3]、積層欠陥四面体についての評価を加えることで、温度履歴の評価精度を高められる可能性も期待できると考えている。ところで、今後の廃炉作業では、がれきなどの残存物の強度も一定の意味を持つと思われる。これに対しては、転位密度から降伏応力を推定する手法についても示す($\sigma = \alpha G b(\rho)^{1/2}$)。

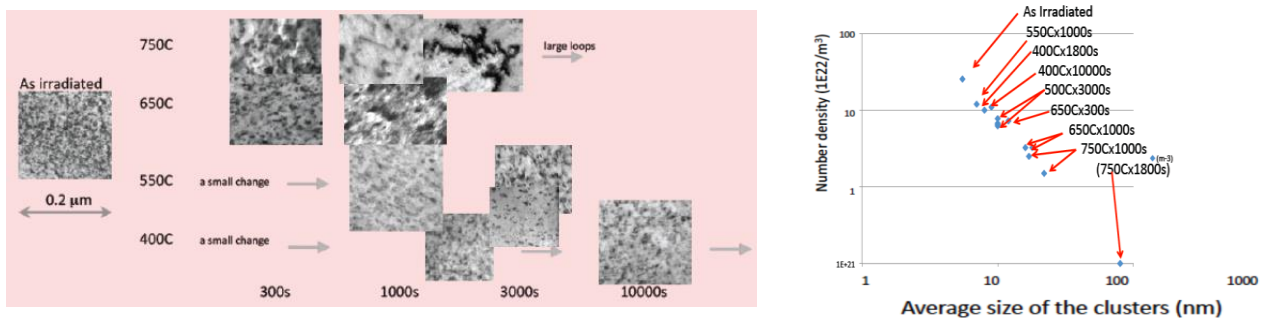


図 焼鈍による微細組織変化の温度及び時間依存性(左：微細組織，右：焼鈍材中のループ径と数密度)

参考文献

- [1] R. Pelli, TMIV(92)SF01.
[2] G.E. Korth, et al., Nuclear Engineering Design 167(1997)267-285
[3] B.N. Singh, D.J. Edwards and P. Toft, Riso R-1213, 2001

*Kohei Noguchi¹, Taro Humimoto¹, Yukito Yamashita¹, Shiro Jitsukawa¹

1. National Institute of Technology, Fukushima College