

軽水炉・シュラウドの表面硬化層における微細組織

Microstructural Analyses of hardened surface in BWR core shroud made of 316L

京都大学エネルギー科学研究科	末石 裕一郎	Yuichiro SUEISHI	Student Member
京都大学エネルギー理工学研究所	香山 晃	Akira KHOYAMA	Member
北海道大学工学研究科	木下 博嗣	Hiroshi KINOSHITA	
東北大学金属材料研究所	鳴井 實	Minoru NARUI	
福井大学工学研究科	福元 謙一	Kenichi FUKUMOTO	

To verify the effect of hardened surface on stress corrosion cracking (SCC) of 316L, characteristics of cracked BWR core shroud have been investigated by means of microstructures. At the inner surface of core shroud where grinding was done, fine grains were observed at the surface thin layer. Furthermore, deformation-induced slip-line field including extensive deformation-twins was observed in the hardened surface region. In contact with corrosion products on the shroud surface, intensive Ni enrichment and Fe, Cr, Mn depletion was detected at the grain boundary. It is suggested that corrosion occurs with NiO formation and Fe, Cr, Mn elution. Since SCC found was initiated at hardened surface, deformation-induced microstructures and/or corrosion behaviors found could have affected the cracking initiation.

Keywords: Stress Corrosion Cracking, Boiling Water Reactor, Core Shroud, surface machining

1. 緒言

近年、国内の沸騰水型原子力発電所の SUS316L 鋼製シュラウドにおいて、機器製造時にグラインダー仕上げが行われた部位に集中して応力腐食割れ (SCC) が多数発生した。割れの発生したシュラウド内表面には硬度が上昇した領域が存在し、SCC 発生の原因となった可能性が指摘されている。この硬化は表面加工に伴う加工硬化現象であると考えられているが、炉内での中性子照射による影響に関する検討は十分には行われていない。また、表面硬化層の存在と SCC 発生に関連についても十分な理解が得られているとは言えない。

本研究では SCC の発生が認められたシュラウド内表面から採取した“ボートサンプル”ならびにひび割れが生じた部位での表面加工を模擬した“モックアップ材”に存在する表面硬化層について TEM により詳細に調査することで、表面加工による微細組織

発展及び炉内環境の影響について明らかにすることを目的とした。

2. 表面硬化層における微細組織観察

2.1 供試材

本研究では柏崎刈羽 3 号炉 H7a (温度: 約 286°C, 中性子照射量: $2.6 \times 10^{19} \text{ n/m}^2$, 溶存酸素濃度: 約 200 ~ 250 ppb) から採取した SCC を含むボートサンプル及びモックアップ材を供試材とした。試験片は SEM により表面状態の概要を把握した後、TEM 観察に供する位置を決定した。TEM 薄膜は FIB 加工/マイクロピックアップ技法を用いて作製した。

2.2 ボートサンプルに存在する表面硬化層の内部組織

Fig. 1 にシュラウドにおいてグラインダー痕が認められた部位での表面組織を示す。同部位に発生したひび割れはグラインダー痕に対してほぼ垂直方向に発生していた。Fig. 2 はグラインダー痕が存在する部位でのシュラウド内表面の内部組織である。硬化が特に著しい表面では微細な結晶粒が観察された。また、硬化領域には Fig. 3 で示すような変形双晶の

連絡先: 末石裕一郎、〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄
京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー応用科学専攻・エネルギー材料物理分野、
電話: 0774-38-3466
e-mail: yuichiro_sueishi@iae.kyoto-u.ac.jp

存在も認められた。Fig. 4 は腐食生成物に接する結晶粒界における EDS マッピング像である。腐食生成物は Cr, Mo リッチなスピネル酸化物 ($O_{K\alpha}$ に対応) であり、これと接する粒界上では局所的な Ni の濃化及び Fe, Cr, Mn の枯渇が認められた。これは、腐食の過程で NiO の生成と Fe, Cr, Mn の溶出が生じるためである。

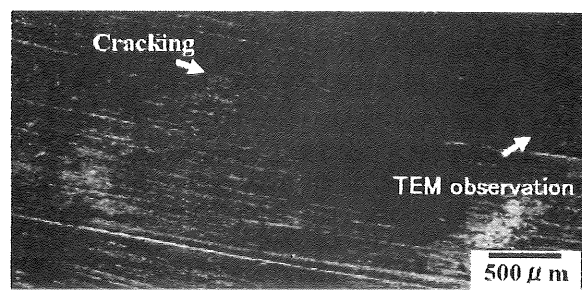


Fig.1 Trace of grinding observed on the inner surface of the core shroud.

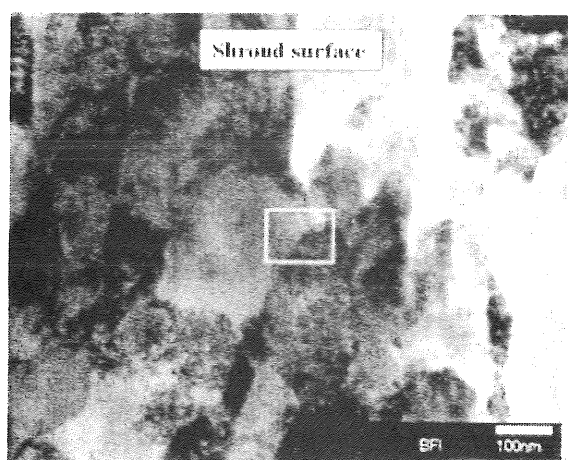


Fig.2 Micrograph of fine grains (left) and corrosion products (right in white contrast) observed at shroud surface.

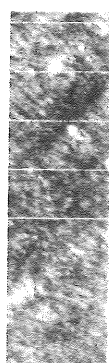


Fig.3 Micrograph (left) and diffraction pattern (right) of deformation-twins observed in surface hardened region.

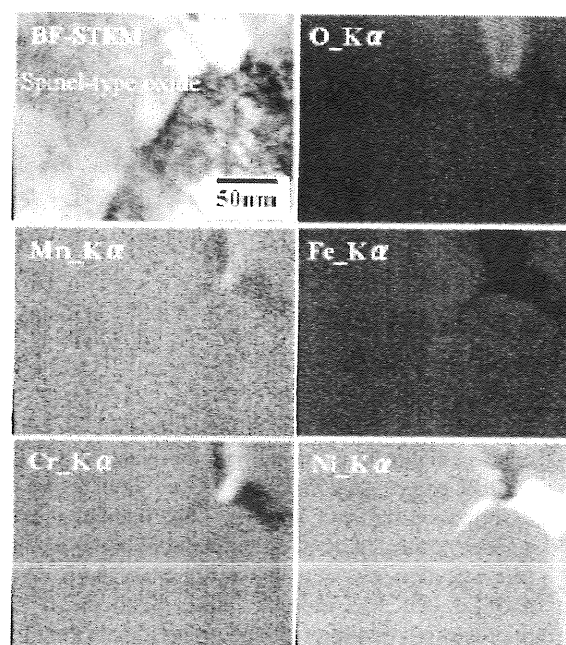


Fig.4 EDS mapping at grain boundary in contact with corrosion products. (See Fig.2)

3. 結言

- 1) グラインダー処理されたシュラウド内表面の硬化領域には微細な結晶粒、変形双晶が存在することを示した。
- 2) 腐食は結晶粒界において NiO の生成ならびに Fe, Cr, Mn の溶出を伴い進展することを示した。

謝辞

本研究は京都大学・東京電力（株）共同研究の成果の一部である。同時に、本研究は東北大学金属材料研究所附属量子エネルギー材料科学国際研究センターとの共同研究による成果の一部である。