

# 微視組織に着目した 316L 鋼溶融境界近傍の SCC 進展遅延メカニズム解明

## SCC Retardation Mechanism near Fusion Boundary in 316L SS Welds from Microstructure Point of View

東北大学 大学院工学研究科 阿部 博志 Hiroshi ABE Non-Member  
東北大学 大学院工学研究科 渡辺 豊 Yutaka WATANABE Member  
東北大学 大学院工学研究科 宮崎 孝道 Takamichi MIYAZAKI Non-Member

SCC behavior near the fusion line of 316L SS welds in high temperature water has been investigated with special attention on relation to the characteristics of microstructure. Island-type  $\delta$ -ferrite has been distributed on grain boundary, namely along the potential crack path, in partially melted zone of 316L SS weld samples. Most of crack tips have been located on  $\delta$ -ferrite in partially melted zone of both weld samples.  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  which makes low oxidation rate of  $\delta$ -ferrite compared with that of austenite phase has been formed by oxidation of  $\delta$ -ferrite at the crack tip. It has been suggested that the island-type  $\delta$ -ferrite in partially melted zone would act as a crack arrester. The retardation mechanism of SCC near fusion line has been proposed assuming that solid oxidation has an essential role in SCC progress.

**Keywords:** Stress Corrosion Cracking, Austenite stainless steel, Welds,  $\delta$ -ferrite

## 1. 緒言

近年国内の沸騰水型軽水炉(BWR)において経験されている低炭素ステンレス鋼製再循環系(PLR)配管の溶接部の応力腐食割れ(SCC)事例によると、母材から発生したき裂は残留応力に従い溶接金属に向けて進展し、き裂の多くはその先端が溶融境界近傍に位置していることから、き裂の溶融境界近傍における停留または進展遅延が指摘されている[1]。しかしこれは比較的マクロな観察事実に基づくものであり、溶融境界近傍の微視組織と SCC 挙動の関係には不明な点が多い。一般的な溶接部において、溶融境界を挟んだ溶着金属側には、母材は溶融するが溶加材による溶着金属成分とは混じり合わず、母材の成分のまま凝固する、いわゆる unmixed zone が存在し、一方母材側には、結晶粒が粗大化し粒界で局部溶融した partial melted zone が存在するため、溶融境界はかならずしも明瞭ではない場合が多い[2]。

本研究では、316L 鋼溶接試料について高温水中 SCC 試験を行い、溶融境界近傍における微視組織と SCC 進展挙動の関わりについて明らかにし、SCC 進展遅延メカニズムを提案することにした。

連絡先:阿部博志、〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-11-905、東北大学 大学院工学研究科 量子エネルギー工学専攻、電話: 022-795-6895、e-mail:hiroshi.abe@rbm.qse.tohoku.ac.jp

## 2. 試験方法

316L 鋼板材を突き合わせ溶接することにより 316L 鋼溶接試料を作製した。板材ならびに溶接フィラーの化学組成を Table 1,2 に示す。SCC 感受性を評価するため、隙間付き定ひずみ曲げ(CBB)試験を実施した。試験片の採取方向を Fig.1 に示す。治具により 1% 曲げひずみを負荷しグラファイトツールで隙間を付け、高温高圧水 (温度:288°C、圧力:9MPa、溶存酸素濃度:8ppm、入口電気伝導度:約 1.7  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$  調整)) 中に 762h 浸漬した。試験後は試料を断面方向から観察し、き裂の数・深さ・経路を評価した。

Table 1. Chemical Composition of 316L SS Plate (wt%)

Fe	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	C	N	P	S
Bal.	17.04	12.18	2.84	1.18	0.44	0.014	0.014	0.021	0.001

Table 2:Chemical composition of WEL 316L SS (wt%)

Fe	Cr	Ni	Mo	Mn	Si	C	N	P	S
Bal.	19.57	13.72	2.20-	1.79	0.40	0.018	0.083	0.021	0.001

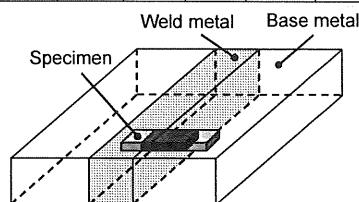


Fig.1: A schematic of sampling direction of the specimen for CBB test

### 3. 結果ならびに考察

#### 3.1 溶融境界近傍における微視組織の特徴

316L鋼溶接試料の溶融境界近傍組織をFig.2に示す。partial melted zoneの粒界に島状のδ-フェライトが分布している。一方、き裂は粒界を経路として進展することから、溶融境界近傍ではき裂の進展経路上に高い確率で島状δ-フェライトが分布していることになる。

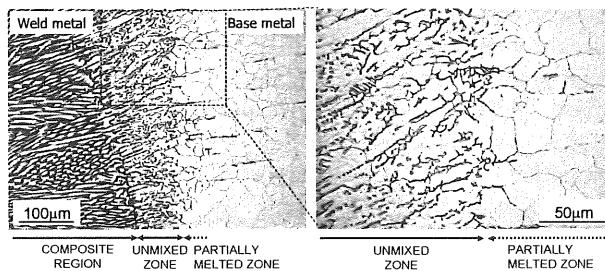


Fig.2: Metallographic structure near fusion boundary

#### 3.2 溶融境界近傍におけるSCC進展挙動

CBB試験後の溶融境界近傍におけるき裂の様相をFig.3に示す。き裂先端の大部分は島状のδ-フェライトに位置している。次に、き裂の先端に形成された酸化物に着目すると、γ相側の酸化物はFe-Crスピネル型酸化物であったのに対し、δ相側の酸化物は主にCr₂O₃で構成されていた(Fig.4)。これはδ-フェライトの酸化によるものと判断された。以上の結果から、き裂進展遅延メカニズムを提案する。メカニズムの詳細は以下の通り：

①き裂は粒界を経路として進展する。進展経路上には島状のδ-フェライトが存在する。②き裂がδ-フェライトに達すると、δ-フェライトの一部が酸化されてき裂先端でCr₂O₃が形成される。これが酸素の拡散障壁として働き、き裂前方での固相酸化反応が抑制され、結果としてき裂が停留する。③き裂停留後、き裂はδ-フェライトを迂回してから再び粒界を進展するが、次のδ-フェライトに遭遇する。

これを繰り返すことにより、溶融境界近傍においてSCCき裂の進展遅延が起こるものと考えられた。

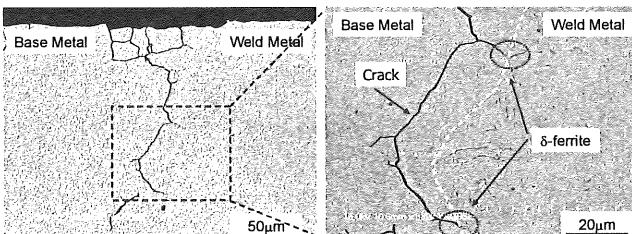


Fig.3: Cross sectional view of cracking morphology

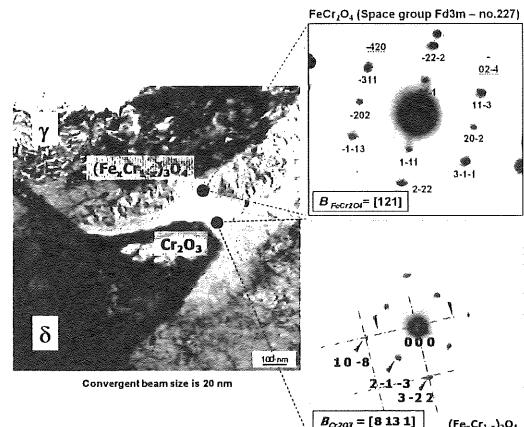


Fig.4: Diffraction pattern of two types of oxide

### 4. 結言

- (1) 溶融境界近傍を進展するき裂は、その先端の大部分がpartial melted zoneにおける島状δ-フェライトに位置していた。δ-フェライトがき裂を停留させる微視組織的原因であることが示唆された。
- (2) SCC進展の本質が固相酸化によるものと仮定して、溶融境界近傍におけるSCC進展遅延メカニズムを提案した。δ-フェライトの酸化によりき裂先端でCr₂O₃が形成され、これが酸素の拡散障壁となることが進展遅延の本質と考えられた。
- (3) 溶融境界近傍に分布する島状δ-フェライトの出現範囲ならびに密度等がき裂進展遅延効果に大きく影響することが示唆された。

### 謝辞

本研究の一部は、東京電力株式会社委託による(社)腐食防食協会「再循環系配管SCCの溶接境界部停留挙動に関するメカニズム研究」において実施したものであると共に、科学研究費補助金(課題番号19・8176)によるものであることを付記する。

### 参考文献

- [1] K. Kumagai, S. Suzuki, J. Mizutani, C. Shitara, K. yonekura, M. Masuda and T. Futami, "Evaluation of IGSCC growth behavior of 316NG PLR piping in BWR", Proc. of 2004ASME/JSME Pressure Vessels and Piping Conference, ASME PVP-Vol.479, (2004), pp.217-223
- [2] W.F. Savage, E.F. Nippes and E.S. Szekeres, Welding J., 55(9), (1976), pp.260s-268s