

BWR 模擬環境での SCC 試験のためのすき間形成材の評価

Evaluation of crevice former for SCC initiation experiment in simulated BWR water environment

東北大学 大学院工学研究科	阿部 博志	Hiroshi ABE	Member
東北大学 大学院工学研究科	石倉 潤一	Junichi ISHIKURA	Non- Member
東北大学 大学院工学研究科	渡邊 豊	Yutaka WATANABE	Member

The crevice former which does not release anion impurities (e.g. Cl⁻) for SCC (Stress Corrosion Cracking) initiation experiment in simulated boiling water reactor water environment has been evaluated. The creviced bent beam tests of sensitized stainless steel with using the crevice condition as an experimental parameter were carried out. Even SCC occurred at the part of specimen surface which tested with only the spacer (no crevice former), it has been difficult to obtain the reproducible result. SCC initiation was apparently accelerated by using the stainless steel wool as a crevice former. The shape of the stainless steel wool was maintained during the CBB experiment. It has been considered that the stainless steel wool will be alternative crevice former.

Keywords: Stress corrosion cracking, Stainless steel, Creviced bent beam test, Crevice former, Graphite fiber wool

1. 緒言

すき間付き定ひずみ曲げ (CBB) 試験は、沸騰水型原子炉 (BWR) 一次冷却水環境における鋭敏化ステンレス鋼の SCC 感受性を評価するための実験室加速試験法として開発され¹⁾、現在では高温水環境中における各種耐食合金の SCC 感受性評価に幅広く適用されている。この試験法の特徴として、短冊状試験片を治具の曲面に沿って挟み付けることで約 1% の曲げひずみを付与できる点、試験面一様に割れが発生する点、腐食を加速させるすき間を付与できる点が挙げられる。すき間は、実機環境における不溶性金属酸化物 (クラッド) の堆積を模擬している。すき間形成材にはグラファイトファイバーウール (GFW) が用いられており、試験前に高温高純度水中に 24 時間以上浸漬することが推奨されている。しかしながら、塩化物イオンに代表される GFW 由来の不純物イオンが、すき間の濃縮効果によって SCC を加速させている可能性が否定出来ないという懸念がある。近年では、Ni 基合金溶接金属 / 低合金鋼溶接部の熔融境界近傍における SCC 進展・停留挙動評価にも CBB 試験が適用されている^{2,3)}。一

方で、5-10ppb レベルの塩化物イオンが低合金鋼の高温水中 SCC 進展速度を大幅に増大させることが報告されており⁴⁾、CBB 試験のすき間環境における GFW 由来の不純物イオン溶出の可能性については注意が必要である。また、実機環境中には大量のカーボンが存在する箇所はないことから、CBB 試験のすき間環境は実機のそれとは異なると考えられる。さらに、試験後 GFW はペースト状になっていることから、長時間の試験の場合はすき間条件が一定に保たれない懸念がある。

本研究では、厳密に環境制御された条件での実験結果を得るために、すき間条件を変数とした高温水中 CBB 試験を実施し、CBB 試験におけるすき間付与方法を検討した。

2. 試験方法

2.1 すき間形成材の検討

鋭敏化 SUS316 を供試材として、複数の隙間形成材を用いて高温水中 CBB 試験を実施し、割れ感受性を評価することですき間形成材に GFW を用いない試験法について検討した。CBB 試験条件ならびに採用したすき間条件を表 1、2 にそれぞれ示す。GFW、SUS316L 製ステンレスウール (SSW)、Ni メッシュの繊維径はそれぞれ 20 μ m、40 μ m、50 μ m であった。試験終了後、試験片表面を金属顕微鏡で観察し、割れ感受性の有無を確認した。

連絡先: 阿部 博志、〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01-2 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: 022-795-7911、e-mail: hiroshi.abe@qse.tohoku.ac.jp

2.2 すき間条件の検討

GFW、すき間のみ、SSW の条件下において、すき間厚さを変数として 2.1 と同様に割れ感受性を評価した。すき間条件を表 3 に示す。試験後、試験片の表面観察に加えて、試験片を長手方向に板幅の 1/2、1/4 の位置で切断した後、切断面を観察してき裂の数・深さを評価した。

Table 1. CBB test condition

Sample	Sensitized SUS316 (EPR ratio=62.3%)
Specimen	L35 × W8 × T2mm
Temp/Press	288°C/9MPa
Water chemistry	68ppb SO ₄ ²⁻
Dissolved oxygen	Air-saturated(8ppm)
Flow rate	6ml/min(3.4~10ml/min)
Duration	500h

Table 2. Crevice condition for test 1

No.	Crevice former
1	GFW + T100μm spacer
2	No crevice (Free surface)
3	No crevice former + T100μm spacer
4	SSW + T100μm spacer
5	T50μm Ni mesh × 2 + T100μm spacer
6	T50μm Ni mesh × 4 + T100μm spacer

Table 3. Crevice condition for test 2

No.	Crevice former	Thickness of spacer(mm)	Apparent density (g/cm ³)
1	GFW	0.5	0.6
2	GFW	0.2	1.5
3	-	0.5	-
4	-	0.2	-
5	-	0.1	-
6	SSW	0.5	2.0 (GFW conversion: 0.57)
7	SSW	0.2	5.0 (GFW conversion: 1.42)

3. 試験結果ならびに考察

3.1 すき間形成材の検討結果

試験後の試験片の表面観察から割れ感受性の有無を評価した結果、GFW、すき間のみ、SSW の試験片で多

数のき裂が認められ、すき間なし、Ni メッシュの試験片ではき裂は発生しなかった。Ni メッシュでき裂が発生しなかった理由として、メッシュに圧縮性がなく隙間としての効果がなくなったことが考えられる。また、すき間のみでは中央部にのみき裂が確認されたのに対し、GFW ならびに SSW は試験面全面でき裂が発生していた。SSW 条件の試験片では全域にわたって黒色の粒状酸化物で覆われており (図 1)、適切な成分の金属ウールを使用することで、クラッドの付着効果を模倣した CBB 試験が行える可能性がある。すき間形成材として SSW を用いることで、GFW と同程度の規模のき裂発生が期待できる。

3.2 すき間条件の検討結果

すき間のみ条件ではいずれもき裂は認められなかった。一方で GFW ならびに SSW では試験面全面でき裂が発生していた。断面観察から求めたき裂の数ならびに深さについて整理して図 2, 3 に示す。き裂発生数で比較すると、GFW>SSW であった。またすき間間隔に着目すると、GFW・SSW とともにき裂の発生数は 500μm>200μm であったが、一方で 200μm においてのみ、深さ数百μm 規模のき裂が認められた。すき間形成材の見かけの密度に応じて、き裂の進展挙動が異なる可能性が示唆された。次に、試験前後の SSW の SEM 写真を図 4 に示す。試験前後でウール形状に大きな違いは認められなかったことから、すき間条件が一定に保たれていたと判断された。以上の結果から、すき間間隔を適切に調整することで、SSW が GFW のすき間形成材代替材として適用可能であることが示唆された。

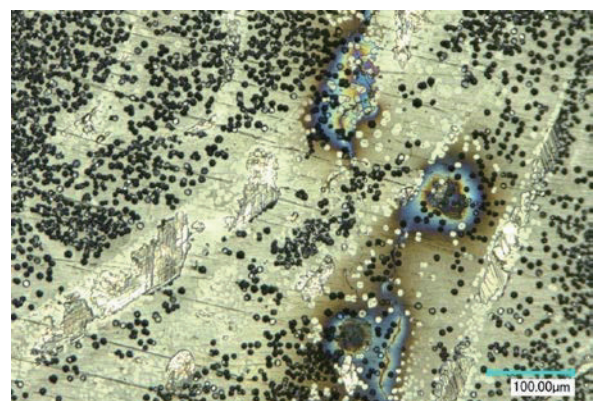


Fig.1 Appearance of the specimen surface tested with using stainless steel wool as a crevice former.

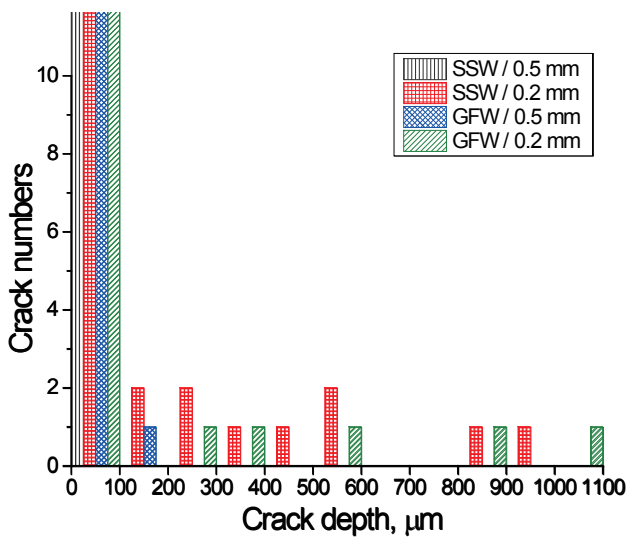


Fig.2 all of number of cracks vs. crack depth obtained from the cross-sectional observation of the specimens.

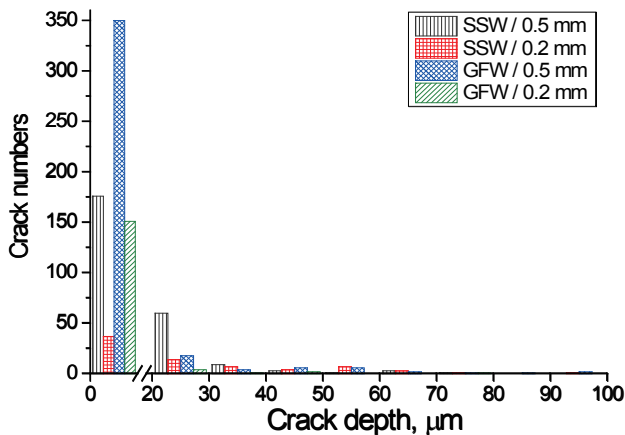


Fig.3 Number of cracks vs. crack depth (< 100 μm) obtained from the cross-sectional observation of the specimens.

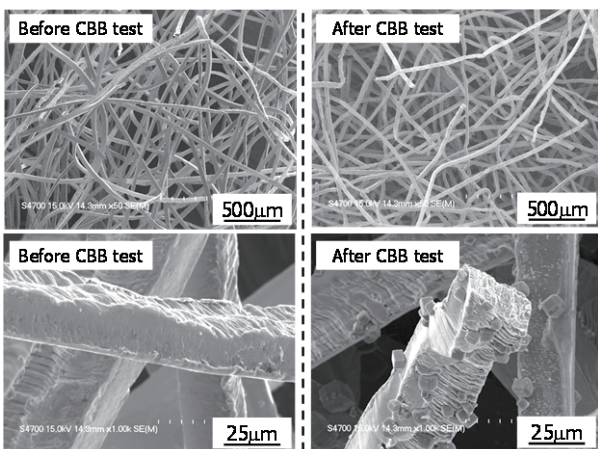


Fig. 4 SEM images of the stainless steel wool.

結言

すき間条件を変数とした高温水中 CBB 試験を実施し、CBB 試験におけるすき間付与方法の検討を行った。

- (1) 隙間のみでも試験片中央部は十分に割れ感受性を示す例はあったが、再現性に乏しいと判断された。
- (2) SSW を用いた場合、試験片表面で鉄酸化物の堆積が顕著であったことから、適切な成分の金属ウールを用いれば、クラッドの付着効果を模擬した CBB 試験が行える可能性がある。
- (3) き裂の発生数で比較すると、GFW>SSW であった。すき間間隔に着目すると、GFW・SSW とともにき裂の発生数は $500\mu\text{m}>200\mu\text{m}$ であったが、一方で $200\mu\text{m}$ においてのみ、深さ数百 μm 規模のき裂が認められた。
- (4) すき間間隔を適切に調整することで、SSW が GFW のすき間形成材代替材として適用可能であることが示唆された。

謝辞

本研究の一部は、BWR 7 電力からの(社)腐食防食協会受託研究の一環として実施されたものである。

参考文献

- [1] 明石正恒,川本輝明:石川島播磨技報, 17, pp472-478 (1977)
- [2] 阿部博志、石澤允、宮崎孝道、渡辺豊、第 57 回材料と環境討論会予稿集、A-108、(2010)
- [3] 榑原洋平、中山元、平野隆、第 57 回材料と環境討論会予稿集、A-102、(2010)
- [4] H.P. Seifert, S. Ritter, Journal of Nuclear Materials, 372, pp.114-131, (2008)