

水素環境下における金属材料の疲労強度特性と破壊メカニズムに関する研究（第2報）

永石尚昭 松永久生^{※1}

平成 29 年度

背景および目的

現在、水素燃料電池自動車に使用される材料の水素適合性の判定方法について、世界統一基準（GTR）の制定を目指して議論が行われている。その一環として、著者らは環状切欠きを有する丸棒状試験片（環状切欠き材、図1）の疲労寿命および疲労限度の決定メカニズムについて研究を行っている。第1報では、低合金鋼 SCM435 環状切欠き材の疲労寿命特性は、CT 試験片の疲労き裂進展試験で得られる $da/dN-\Delta K$ 曲線から「疲労寿命 ≒ 疲労き裂進展寿命」として精度良く予測できるのに対し、準安定オーステナイトステンレス鋼 SUS304 環状切欠き材については、実際の疲労寿命と予測値の間に大きな差が生じることを示した。本報では、準安定オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 について、「高寿命領域 ($N_f > 10^5$)」、「疲労限度」のそれぞれにおいて実験結果と予測が不一致となる理由を明らかにするため、実験・解析の両面で検討を行った。

研究内容

1. 平滑丸棒試験片(図2)を用いたひずみ制御疲労試験

2. の有限要素解析に用いるためのデータ（繰返し応力-ひずみ応答）を取得した。

2. 環状切欠き丸棒試験片の有限要素解析

疲労試験中の切欠き底の変形挙動を、有限要素解析 (FEA) を用いて数値的に求め、繰返しひずみ振幅やその分布を調査した。

3. 切欠き底のき裂発生に関する考察

環状切欠き試験片で得られた疲労寿命 N_f には、き裂の発生寿命 M が含まれるのか、実験的に調査した。

研究成果

- 1) 平滑丸棒試験片を用いたひずみ制御式疲労試験を行い、供試材の繰返し塑性変形挙動を取得し、FEAに入力する材料パラメータを決定した（図4）。
- 2) 環状切欠き丸棒試験片で取得した供試材の疲労限度における切欠き底の繰返し応力-ひずみ関係をFEAで求めた（図5）。1000 サイクル以降、ヒステリシスループはほぼ安定し、そのときの局所的な応力比 R_L は -0.89 となり、遠方応力比 $R = 0.1$ と異なることが明らかとなった。
- 3) 試験途中に試験機から取り外した試験片の断面を観察し（図5）、切欠き底から進展したき裂の長さを計測した結果、高寿命領域 ($N_f > 10^5$) ではき裂の発生に多くの繰返し数が費やされていることが明らかとなった。このことから、 N_i を考慮していない予測結果が実験結果よりも短寿命側となる理由が明らかとなった。

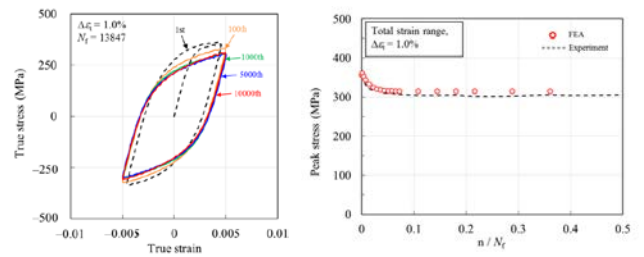


図3 平滑丸棒試験片ひずみ制御疲労試験の実験結果と FEA 結果の比較

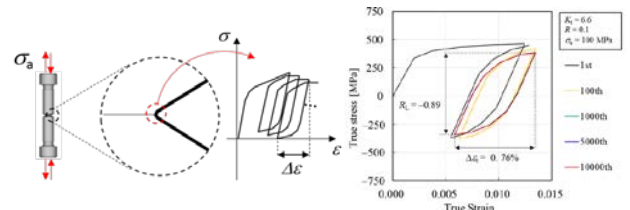


図4 疲労試験中の切欠き底の変形挙動 (FEA 結果)

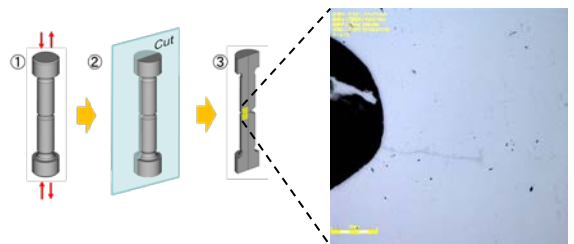


図5 切欠き底から発生したき裂

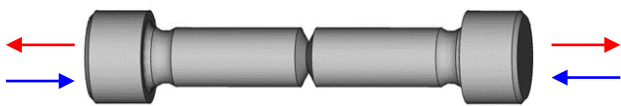


図1 環状切欠き丸棒試験片



図2 平滑丸棒試験片