九州大学学術情報リポジトリ Kyushu University Institutional Repository

応力下における圧力容器鋼の照射欠陥挙動

平金, 晶憲 九州大学総合理工学府

渡辺, 英雄 九州大学応用力学研究所

吉田, 直亮 九州大学応用力学研究所

https://doi.org/10.15017/27065

出版情報:九州大学応用力学研究所所報. 137, pp.161-163, 2009-09. Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University バージョン: 権利関係:

応力下における圧力容器鋼の照射欠陥挙動

平金 晶憲*1 渡辺 英雄*2 吉田 直亮*2

(2009年7月31日受理)

Effects of applied stress on pressure vessel steels under irradiation

Akinori HIRAGANE, Hideo WATANABE, Naoaki YOSHIDA

E-mail of corresponding author : hiragane@riam.kyushu-u.ac.jp

Abstract

To understand the effects of applied stress on pressure vessel steels during irradiation. Compact tensile testing machine was designed. In this paper, the detailed design of this machine and the result of ion irradiation were disscussed.

Key words : pressure vessel steels, tensile test, ion irradiation

1. 緒言

軽水炉に関わる今日の問題点として,新規原子力発 電所の立地上の制約や建設時の膨大なコスト等が挙げ られ,既存する原子力発電所の運転期間の延長が避け られない状況にある. そこで, 長期間にわたり安全に軽 水炉を稼動させ続ける為にも,運転期間中に交換でき ない圧力容器鋼の照射脆化程度を正確に把握する必 要がある.具体的に, PWR 型圧力容器胴部には,約 150(Mpa)の膜応力が負荷されており、また原子炉圧力 容器設計の段階では,応力比(発生応力/降伏応力) が 0.6~0.7 の範囲に収まるように設計されているが,実 機圧力容器を模擬する監視試験片には,応力が負荷さ れていない状態で置かれている.従って,監視試験片と 実際の圧力容器で脆化程度の違いが懸念される. そこ で,応力の影響により局所的な歪場が生じた状況での 格子間原子の拡散挙動, 転位周辺への溶質原子の拡 散,転位ループや析出物の形成などに,応力がどの様 な影響を及ぼすのかを検討する必要がある. そこで今回, 実機の状況に近い応力環境下で照射し,応力の損傷 組織・照射欠陥形成プロセスへの影響とメカニズムの解 明や,引張応力下における重イオン照射法の確立を目 的とし、タンデム型加速器ビームライン上に設置可能な 動的照射効果観察ステーション(以下:小型引張試験 機)を作製した.

*1 九州大学 総合理工学府 院生

ここでは,この装置の詳細と,この装置を用いて行った模擬実験結果,ならびに今後の研究予定について示す.

2. 実験方法

2.1 小型引張試験機の概要

Fig.1(a)に小型引張試験機の全体写真を, Fig.1(b)に 試験機を横から見た場合の設置概略図をそれぞれ示 す.今回作製した試験機は,全長:230(mm),横幅: 120(mm),奥行:100(mm)で,最大単軸引張荷重は 100(N),最大引張可動範囲は0~10(mm),試験可能温 度範囲は室温から700(℃)である.加熱方法は通電加 熱を用い,電源電流は最大12(A)である.加熱温度の 計測方法は,試料裏に取り付けている放射温度計を用 いる.また,試験片中心に熱電対を取付け実温度の測 定を行い,200~500(℃)の温度範囲での温度補正を行 い非常に良い温度の一致を得ている.これを九州大学 応用力学研究所設置のタンデム型加速器チャンバー 内に設置した.

Fig.2 に,小型引張試験片の全体図ならびに寸法を 示す.ここでは全長 16(mm),試料厚さ 0.12(mm),有効 長 5(mm)の試料を用いた.今回の試料材料は,小型引 張試験機の性能と所定の動作の確認を行う模擬実験 の目的により,これまでの照射下で報告例の多い JPCA2(SUS316)を用いた.熱処理は真空中で行い,条 件は温度 1050(℃)とし熱処理時間を 0.5(h)とした.

^{*2} 九州大学 応用力学研究所



Fig.1 Compact tensile testing machine



Fig.2 Test Pieces for tensile test, d/mm

2.2 照射ならびに照射後試験の概要

重イオン照射は、3.25(MeV)のNi³⁺イオンを5dpaまで 照射した.照射時の温度は室温と400(°C)で,応力負荷 条件は50(N)と負荷なし(0(N))の2種類で行い,照射中 は1時間のおきにビーム位置およびビーム量の確認を 行った.照射前後の硬度試験は,超微小押し込み硬さ 試験機(Erionix 社製 ENT-1000)を用いた.条件は,荷 重 1000(mgf),試料台温度 28(°C)である.測定結果に ついては,未照射材を用い超微小押し込み硬さ試験機 より得られた結果(Berkovich 硬度)と通常の硬度測定機 より得られた結果(Vickers 硬度)とで硬度変換の式を算 出する事により導出した.

3. 実験結果及び考察

3.1 引張試験結果(応力-歪曲線)

Fig.3 に小型引張試験機を用いて得られた, JPCA-2 の室温での引張実験結果として応力-歪曲線を示す. Fig.3 両図に示した丸印の箇所に注目した時,試験片 取り付け方の改良前として示す Fig.3(a)の応力-歪曲線 では,降伏応力が31(N),降伏時変位量が430(**a**m)とい う結果が得られた.また試験片取り付け方の改良後とし て示す Fig.3(b)の応力-歪曲線では,通常の引張試験 機(島津製作所 AG-20kNG)より求めた結果(降伏応力 が 32(N),降伏時の変位量が 80(**a**m))に近い結果にな った.

今回,同一の小型引張試験機を用いた場合でも,降

伏時の変位量に大きな差が生じているが、これはチャック部(試験片固定箇所)の影響が大きいと考えられる. Fig.4 にチャック部の模式図を示す.今回の実験では試験片両端に開けられた空孔に固定ピンを差込む固定方法を用いており、その結果試験片空孔部分に局所的な伸びが発生していることが確認できた.その結果、有効長部分に加わる応力値に誤差が生じ、結果的に求められた降伏時の変位量の値が通常の引張試験機から求めたものよりも、大きくなったと考えられる.



Fig.4 Supporting section diagrams

3.2 照射後試験結果(超微小硬度測定)

Fig.5 に室温および 400(℃)における照射前後の引張 試験片の微小硬度測定結果を示す.この図より照射領 域(中心からの距離が 0(mm))近傍において,著しい硬 度上昇が測定された.また,応力を負荷させた場合,ビ ームが当たっていない未照射領域の硬度より約100 近く 硬度が高いことが分かり,硬度の上昇幅は応力を負荷 させない場合よりも大きいことが分かる.また,400(℃)に て照射を行った場合の方が,室温で照射を行った場合 よりも硬度の上昇幅が大きいことが分かる.硬度の上昇 幅が増大した理由については,今後内部組織観察を行 い検討していく予定である.



Fig.5 Measurements of Vickers microhardness

今回の実験では, 試験片全体の硬度が非荷重の場 合よりも上昇している. 上昇した理由は, 負荷応力値が 降伏応力値を超えているために転位が導入された事で 説明される. 今後, 一層正確な硬度の上昇幅を検討し ていくために, 弾性領域内での照射を行い応力の与え る影響を検討する.

また重イオン照射を行った場合,損傷ピーク領域が 試料表面から深さ約 500(nm)で,その領域厚さが,およ そ 100(nm)程度であるため,結果として損傷領域の深さ 領域が,試験片全体の厚さに対して 1/200 程度しかな い.その為,引張試験より得られた応力-歪曲線では, 照射損傷の状態を把握することは不可能である.従って, 超微小押し込み硬さ試験機やバックシニング(背面研 磨),集束イオンビーム加工装置(FIB)を用いて,損傷領 域の内部組織や硬度測定から照射効果と応力との相 関関係を追及する.また照射による内部の応力緩和に ついては,有限要素法を用いる事で,欠陥が蓄積され た際に試験片全体への応力の影響を検討予定である.

4. 結言

タンデム型加速器ビームライン上に小型引張試験機 を作製して,所定の動作および性能を確認し,重イオン 照射模擬実験を行った.当初小型引張試験機と通常 の引張試験機より得られた応力-歪曲線とでは,弾性領 域広さに大きな差があったが,チャック部に試験片を取 付ける際の方法を再検討した結果,その後大きな差は 見受けられなくなった.また硬度測定の結果より,照射 領域における硬度上昇が確認できた.今後,A533B 鋼 のモデル合金の Fe-Mn,Fe-Si,Fe-Ni 等のモデル合金を 用いて重イオン照射を行い,応力下における照射欠陥 挙動を硬度測定および内部組織観察を用いて観察し, 引張応力影響下での添加元素効果を明らかにする.

5. 参考文献

- S.B.Fisher, J.T.Buswell, Int. J. Pres. Ves. & Piping, 27 (1987) 91.
- (2) G.R.Odettee, G.E.Lucas: Radiation Effects and Defects in Solids . **144** (1998) 189
- (3) W.J.Phythian, C.C.English, J.Nucl:Master, **205**(1993) 162
- (4) H.Watanabe,S.Masubuchi,N.Yoshida:Master2,47 (2008) 620
- (5) H.Watanabe, T.Imamura, S.Masubuchi, N.Yoshida, Y.Kamada, S.Takahashi: Report of research Institute for Applied Mechanics, Kyusu University, 133(2007) 161-165