

高エネルギー白色 X 線による微細結晶材内部の疲労き裂近傍応力測定

Measurement of stress near fatigue crack in ultra-fine grained steel using high energy white X-ray

柴野 純一¹⁾ 秋庭 義明²⁾ 鈴木 賢治³⁾ 木村 英彦²⁾菖蒲 敬久⁴⁾ 桐山 幸治⁴⁾ 金子 洋⁴⁾ 梶原 堅太郎⁵⁾

Jun-ichi SHIBANO, Yoshiaki AKINIWA, Kenji SUZUKI, Hidehiko KIMURA

Takahisa SHOBU, Koji KIRIYAMA, Hiroshi KANEKO, Kentaro KAJIWARA

¹⁾北見工大 ²⁾名古屋大 ³⁾新潟大 ⁴⁾原子力機構 ⁵⁾JASRI

BL14B1 ビームラインで得られる高エネルギー白色 X 線を利用して、微細結晶材料内部の疲労き裂近傍の応力評価に必要な内部ひずみマッピングを行った。試料には SUF 鋼を用いた。その結果、き裂先端近傍に分布するひずみの詳細なマッピング図を得ることができた。

キーワード：シンクロトロン放射光、白色 X 線、微細結晶、疲労き裂、ひずみマッピング

1. 目的 最近、材料の高強度化を図るため結晶粒の微細化に関する研究が盛んに行われている。高強度化が図られたとしても、構造物としての長期的な機械的信頼性を考えると疲労強度、すなわち疲労破壊に対する抵抗力が問題となる。そのため、疲労破壊をもたらす疲労き裂の進展メカニズムの解明が重要となる。本研究では高エネルギー白色 X 線による内部ひずみ測定法⁽¹⁾⁽²⁾を微細結晶材に適用し、疲労き裂先端近傍の内部ひずみマッピングを行い応力評価の可能性を検討した。

2. 方法 SPring-8 に設置された日本原子力研究開発機構専用ビームライン BL14B1 において得られる白色 X 線(約 50~150keV)を利用した。検出器には Ge の SSD を用い、X 線のエネルギー弁別は MCA (4096 チャンネル)で行った。試験片材料には結晶粒径が $4.5 \times 3.1 \times 1.8 \mu\text{m}^3$ 程度の SUF 鋼(圧延方向)を用い、長さ 65mm、幅 10mm、厚さ 2mm の試験片片側に疲労き裂を導入した。回折角は 10° とした。スリットサイズは高さ $50 \mu\text{m}$ × 幅 $100 \mu\text{m}$ である。4 点曲げ負荷装置を用いて、試料に引張側公称ひずみとして 1138×10^{-6} を負荷後 216×10^{-6} まで除荷し、再度 1998×10^{-6} まで負荷した。き裂先端を原点とし、き裂先端後方 -0.1mm から前方 0.4mm、上下 0.25mm の $0.5\text{mm} \times 0.5\text{mm}$ の範囲を 0.05mm の間隔で 11 点 × 11 点 = 121 点を測定した。測定時間は各点 600 秒である。試料を透過した回折 X 線のピークエネルギーをガウス曲線近似し求めた。回折面毎にエネルギー分散法によりき裂近傍のひずみを算出した。なお、ひずみ算出に必要な無ひずみ時の回折 X 線エネルギーは同じ材料の応力除去真空焼鈍材(650°C 30 分保持後炉冷)から求めた。

3. 研究成果 1138×10^{-6} を負荷した場合、き裂先端と推定される位置から前方 0.1mm~0.2mm 前後の位置には、降伏応力に相当するたいへん大きな引張ひずみが生じていた。逆にノッチ側のき裂が進展してきた領域では圧縮ひずみが存在した。それらの分布形態は破壊力学などで知られているき裂先端近傍のひずみ分布の特徴を良く表していた。 1998×10^{-6} まで負荷した場合は、広い範囲が降伏しており、高い引張ひずみが広範囲に分布した。いずれの分布も回折面依存性、すなわち同じ負荷にもかかわらず回折面によって最大ひずみの分布範囲が大きく異なった。これは、結晶塑性学的にたいへん興味深い結果である。白色 X 線によるエネルギー分散法の場合、測定中は測定領域が固定される。そのため、各回折面からの情報は同じゲージボリューム内にある異なった結晶からの情報となる。このことは結晶粒界あるいは結晶粒内でのひずみの生じやすさなどの研究にたいへん有効となる。また、これまで回折線プロファイルの半価幅 FWHM が塑性域の発生に関係するとしてきたが、別の要因も含まれることが明らかになった。FWHM 増加の要因については今後詳しく検討を行う。

4. 結論・考察 BL14B1 において得られる高エネルギー白色 X 線によって、微細結晶材内部のき裂先端近傍に分布するひずみのマッピングが可能であることが明らかになった。今後は、測定領域のさらなる微細化と応力分布評価のための測定法の検討を行っていく。

5. 引用(参照)文献等

(1) J. Shibano, T. Shobu, K. Suzuki, T. Hirata, H. Kaneko and M. Kobayashi, J. the Society of Materials Science, Japan, Vol. 56, No. 10, 985-992 (2007).

(2) J. Shibano, K. Kajiwara, K. Kiriyama, T. Shobu, K. Suzuki, S. Nishimura, S. Miura and M. Kobayashi, J. the Society of Materials Science, Japan, Vol. 57, No. 7, 667-673 (2008).