

応力測定のための中性子回折測定技術の高度化

日大生産工(院) ○ 栗原 諒 日大生産工 高橋 進 鈴木 康介

1. 緒言

現在、地球温暖化対策の為に、高エネルギー消費関連の自動車、電車、その他の機械・インフラは、高強度鋼板等の幅広い用途で軽量化されている。より良い寸法精度と長寿命のために、これらの構造部品は製造中に発生する残留応力を、制御する必要がある。そこで、金属部品内部の結晶情報を計測可能な中性子回折は、部品内の残留応力の評価への活用期待できる。しかし、部品内の残留応力を測定可能な装置は大型施設に限られるため製造現場での測定が難しく、これを可能とするオンサイト型小型装置が求められる。そこで小型中性子源による応力測定実用化を目指し、原子間距離の測定精度向上及び測定時間の短縮を行ったので報告する。

2. 実験方法

2.1 試験試料

試料は、構造材料として多く用いられ、他の実用金属よりも大きな回折パターンを得ることが容易な BCC 鉄粉とした。資料材料を入れる容器は $\phi 8 \times 45[\text{mm}]$ のバナジウム製の筒とした。

2.2 小型中性子源

小型中性子源は、理化学研究所が開発した RANS (Riken Accelerator-driven compact Neutron Source) を使用した。本実験では、パルス幅 20 μs 、周波数 100 Hz の陽子ビームを用いた。最大運動エネルギー 5MeV の中性子が生成される。

2.3 回折測定装置のセットアップ

実験装置の最下流にある回折測定装置は、上流から中性子ビーム管、 B_4C スリット、オイラークレイドル及び中性子を検出する PSD (Position Sensitive Detector) によって構成される。本実験で用いた PSD は、約 10 mm の位置分解能と数マイクロ秒の時間分解能を有する。中性子減速表面からサンプルまでの距離を L_1 、そしてサンプルから検出器有感領域中央までの距離 L_2 とした。検出器で検出される個々の中性子に対して、中性子減速表面中心から試料中心を経て検出器上の検出位置 (x, y) に至る直線の長さを飛程距離 (L) とする。L は (1) 式から求まる。この飛程距離と検出時間 t から求まる飛行時間 TOF (Time Of Fly) から中性子の運動エネルギーが算出され、これに式(2)

のド・ブロイの式を適用することにより中性子の波長 λ が求まる。検出位置から幾何学的に求まる回折角 2θ と上述の λ に式(3)のブラッグの回折条件式を適用することにより格子面間隔 d が求まり、各結晶構造固有の d に対応した回折ピークが現れる。ここで、 h はプランク定数、 m は中性子質量である。

$$L = L_1 + \sqrt{L_2^2 + x^2 + y^2} \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{ht}{mL} \quad (2)$$

$$d = \frac{\lambda}{2\sin\theta} \quad (3)$$

2.4 試験条件

ブラッグの回折条件式で求める格子面間隔 d の変化の割合を正確に求めるためにはエネルギー分解能が有効である。そこで、エネルギー分解能向上のためにバックグラウンド中性子の成分を除くためにコリメータの改良を行った。従来のコリメータを図 1(a),(b) に示す。

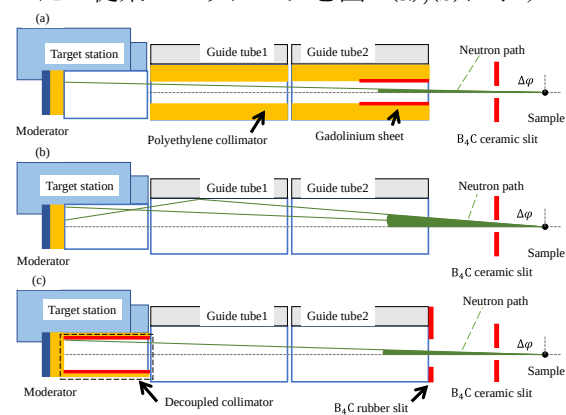


Fig.1 Schematic view of collimator setup
(a) Polyethylene collimator. (b) Without collimator. (c) Decoupled collimator.

構造は、厚さ 3.5mm の B_4C を内面に使用した直径 140mm、長さ 500mm の角柱のコリメータと同様な仕様の直径 120mm、長さ 500mm のコリメータである。当該中性子は種々の角度で飛来するので、エネルギー分解能を悪化させる影響が考えられる。そこで改良したコリメータは、ビームの角度広がりを抑制することが可能となり、従来のコリメータよりエネルギー分解能の高い中性子ビームが取り出せると考えた。改

良したコリメータを図 1(c)に示し、それを Decoupled collimator と呼ぶ。

3. 実験結果及び考察

各コリメータを使用した場合の中性子強度と TOF の関係を図 2 に示す。図 2 より,Decoupled collimator の211回折面の中性子強度はPolyethylene collimatorの1.6倍であった。しかしコリメータなしのセットアップからは0.57倍の中性子強度となった。

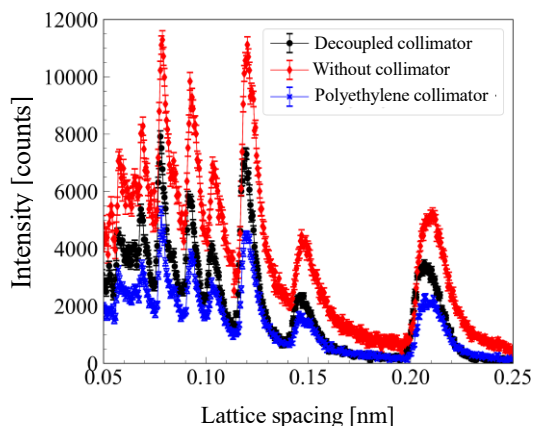


Fig.2 Measured diffraction patterns of powder sample of BCC iron

次にバナジウムの非干渉性散乱によって得られたスペクトルを用いて規格化を行った結果を図3に示す。図3よりコリメータなし場合はバックグラウンドが多いことから中性子強度が低下したことが分かる。

加えて回折ピークのひずみ分解能を各コリメータ条件で比較を行った。比較の方法としては、図3における各結晶回折面のピークの近傍データを Gaussian 関数を用いてフィッティングを行い、求められたフィッティングの曲線のピークの中心位置及び推定誤差を使用して、式 (4)で求まる回折ピークのひずみ分解能で比較した。

$$\Delta\epsilon = \frac{\Delta\mu}{\mu} \quad (4)$$

ここで $\Delta\epsilon$ はひずみ分解能、 μ はピーク中心位置、 $\Delta\mu$ は推定誤差である。各コリメータにおける211結晶回折面の回折ピークのひずみ分解能の比較を図4に示す。図4より Polyethylene collimator のひずみ分解能が大きいことが分かる。これは中性子強度が小さいことによる統計誤差とフィッティングによる推定誤差が大きいことが理由だと考えられる。これに対してコリメータなしの場合は中性子強度が大きいことから統計誤差が小さいため Polyethylene

collimator よりも良い分解能になったと考えられる。Decoupled collimator はバックグラウンド成分を減らしながらも中性子強度を維持できたため良いひずみ分解能を得ることが出来たと考えた。

したがってバックグラウンドを減らした結果、回折ピークの裾が減り、分解能を向上させることが出来た。また、ひずみ分解能が 6.7×10^{-4} を達成したことで応力分解能に換算すると140 MPa 程度の測定が可能になることが示された。

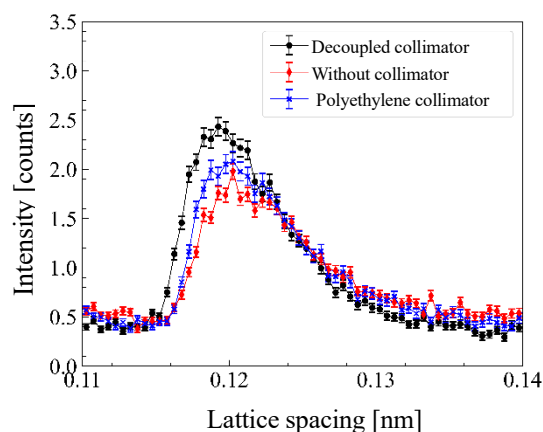


Fig.3 Diffraction patterns of powder sample of BCC iron normalized by incoherent scattering from vanadium metal

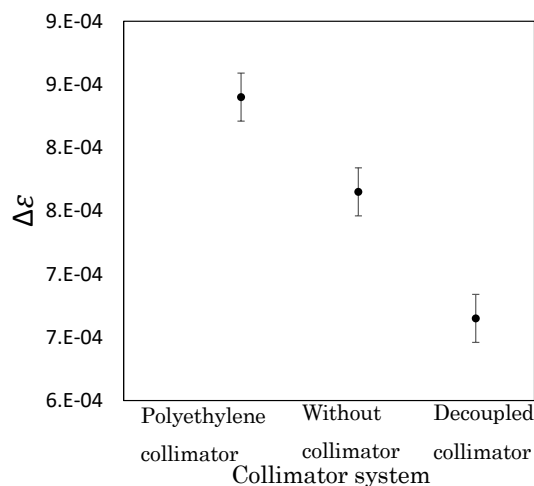


Fig.4 Difference from collimator system of measurement accuracy of the lattice strain $\Delta\epsilon$

4. 結言

- 1) バックグラウンド中性子の要素を取り除くことが出来た。
- 2) 従来のビームラインよりも統計量を稼ぐことが出来た。
- 3) 研究の効率化及び応力測定の精度を確認することで、今後の小型中性子源による応力測定の実現性を示す。