

中性子減速器における中性子回折を用いた評価

日大生産工(院) ○ 栗原 諒 日大生産工 高橋 進 鈴木 康介
理化学研究所 高村 正人 岩本 ちひろ 大竹 淑恵

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に期待できる。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為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、パルス中性子のエネルギー分解能向上を目的とした中性子減速器の特性評価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 $\phi 8 \times 45$ [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 μ s、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、B₄C スリット、オイラークレー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。中性子減速器表面からサンプルまでの距離 (L1)、サンプル から検出器有感領域中央までの距離 (L2) 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行距離 (L) とする。L は (1) 式となる。この飛行距離と検出時間 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。

$$L = L1 + \sqrt{L2^2 + x^2 + y^2} \quad (1)$$

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

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

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中性子減速器の改良を行った。従来使用していた結合型中性子減速器 (Coupled moderator) を図 1 a) に示す。

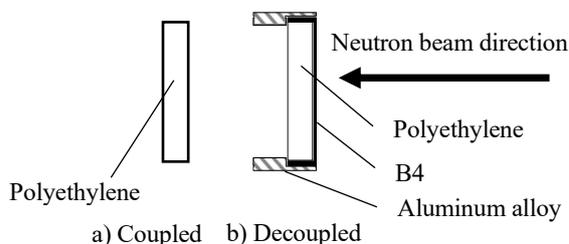


Fig.1 Moderator

構造としては、厚さ 20mm のポリエチレン単体であり、中性子を減速させる働きをする。当該中性子は種々の角度で飛来するので、中性子減速器周囲から入射してエネルギー分解能を悪化させる影響が考えられる。そこで改良した中性子減速器は、従来使用していた結合型中性子減速器のポリエチレンの側面と陽子ビーム照射側に新しく B₄C ゴムを被せた。当該減速器は、減速器周囲から入射して TOF 精度を悪化させる中性子の遮断が可能となり、従来の結合型中性子減速器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

Evaluation using neutron diffraction in neutron moderator

Ryo KURIHARA, TAKAHASHI, Kousuke SUZUKI, Masato TAKAMURA,
Chihiro IWAMOTO and Yoshie OTAKE

中性子減速器を図1b)に示し,それを非結合型減速器 (Decoupled moderator) と呼ぶ.

3. 実験結果及び考察

非結合型中性子減速器を使用した場合の中性子強度と格子面間隔の関係を図3に示す. 図3より,特に200結晶回折面及び110結晶回折面で回折ピークが明確に現れていないことが分かる. これは,小型中性子源の特徴として大型施設に対してビーム強度が低いためと考えられる. 具体的には,小型中性子源 (RANS) のビーム強度は 4.6×10^4 [n/s · cm²]であり,大型施設のビーム強度は, $2.4 \sim 4.8 \times 10^7$ [n/s · cm²]である. そのため,良好な統計精度による回折ピークが得られていないと考えた.

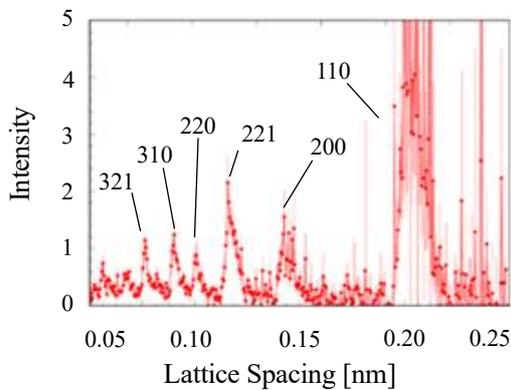


Fig.3 Uncorrected diffraction peak

そこで,ピーク形状の明確化のために計測結果に対して式(4)で示す移動平均を行うことで回折ピーク強度の補正を行った.

$$x_i' = \frac{\sum_{i-M}^{i+M} x_i}{2M+1} \quad (4)$$

ここでMは平均する範囲である. 移動平均の適用結果を図4に示す. 移動平均を用いた補正により,各結晶回折面における統計誤差が低減でき,良好なピーク形状が得られた.

各結晶回折面における良好なピーク形状が得られたので,回折ピークの位置分解能を結合型中性子減速器 (Coupled)と非結合型中性子減速器 (Decoupled)で比較を行った. 比較の方法としては,図4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幅及びピークの中心位置を使用して,式(5)で求まる回折ピークの位置分解能で比較した.

$$Resolution = \frac{FWHM}{X_0} \quad (5)$$

ここでFWHMはピーク幅, X_0 はピーク中心位置である. 各中性子減速器における211結晶回折面の回折ピークの位置分解能の比較を図5に示す. 回折面として211回折面としたのは, 211回折面のピークが他の回折面のピークと重なりがなく,ピークの裾にも他の回折面のピークの裾の影響が少ないからである. 図5より結合型中性子減速器より非結合型中性子減速器の方が小さい位置分解能となり,測定精度が向上したと言える.

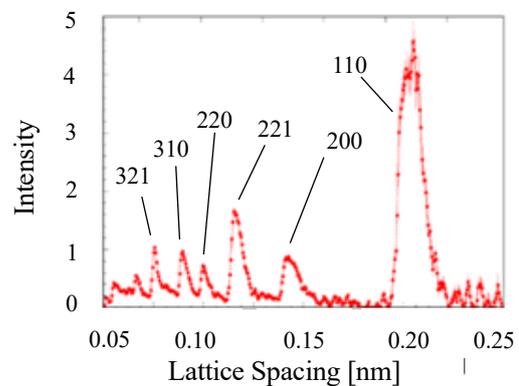


Fig.4 Corrected diffraction peak

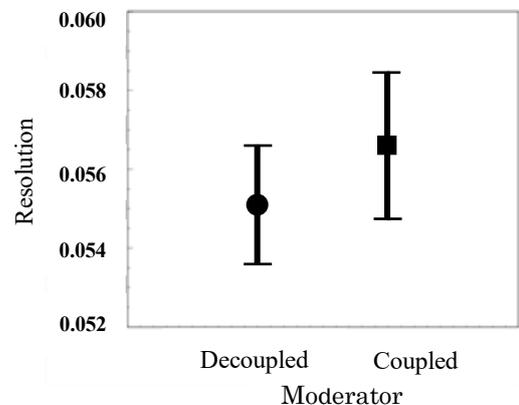


Fig.5 Comparison of resolution of moderator at 211-plane peaks

4. 結言

- 1) BCC 鉄粉の 200 結晶回折面及び 110 結晶回折面の回折ピークを移動平均により明確に表すことができた.
- 2) 非結合型中性子減速器により分解能向上を確認できた.
- 3) 研究の効率化及び中性子減速器の性能のさらなる向上を行うために,回折測定装置内における中性子の運動シミュレーションを適用し,中性子減速器の改良を行う.