

令和4年度中性子イメージング専門研究会 2023年1月5日

マルチブラッグエッジ解析による 新しい応力ひずみイメージング

〇<u>黒見 柊蔵</u>¹, 佐藤 博隆¹, 岩瀬 謙二², 加美山 隆¹
¹北海道大学, ²茨城大学

金属材料の応力・ひずみ解析の現状

- 応力・ひずみ解析
 材料の強度・破壊特性を
 評価する上で非常に重要
- ひずみ測定・解析法
 - ・ ひずみゲージ
 - X線回折法
 - 中性子回折法
 - <mark>パルス中性子透過法</mark>





パルス中性子透過法を用いた シングルブラッグエッジ (SBE) 解析によるひずみ解析



SBE解析によるひずみイメージング[2]とその課題



[2] 佐藤博隆: 博士論文、北海道大学、札幌 (2011). 3

転位密度解析を目指した マルチブラッグエッジ (MBE) ブロードニング解析[3]



[3] H. Sato, K. Iwase, T. Kamiyama, Y. Kiyanagi: ISIJ International 60 (2020) 1254. 4

研究目的 マルチブラッグエッジ解析による 応力ひずみイメージング法の開発

研究内容

- ① マルチブラッグエッジ解析法の開発
- ② 本手法を用いた応力ひずみイメージング

①マルチブラッグエッジ解析法の開発

測定試料•荷重条件



荷重条件

- ✓ 荷重なしの測定:0 kN
- ✓ 荷重ありの測定: 10, 20, 25, 27.5, 30, 32.5, 40, 49 kN
- ✓ 荷重解放後の測定:20 N

パルス中性子透過イメージング実験[4]

ビームライン

J-PARC MLF BL19 匠 (TAKUMI)

- ・ ポイズン型減速材
- 陽子ビームパワー: 120 kW
- 1荷重の測定時間:3h





<u>検出器</u>

256ピクセル⁶Liガラスシンチレーター直読式2次元画像検出器

- 検出面積: 48.4 mm × 48.4 mm
- 画素サイズ:3mm×3mm
- TOFビン幅:5 µs

マルチブラッグエッジ解析における {*hkl*}面の結晶格子面間隔 (*d_{hkl}*)の導出方法



$$d_{hkl} = \frac{a_0}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \left[1 + \frac{1}{E_{hkl}} \{ \sigma_z - v_{hkl} (\sigma_x + \sigma_y) \} \right]$$

マルチブラッグエッジ解析方法



<mark>フィッティングパラメータ</mark>: a_0 , σ_z , $\sigma_x + \sigma_y$

<u>これまでパルス中性子透過法では導出不可能だった</u> 無ひずみ格子定数や応力の解析まで期待される

MBE解析による0 kNのスペクトルへのフィッティング結果



MBE解析による各回折面のフィッティング結果



② マルチブラッグエッジ解析による 応力ひずみイメージング結果







27.5 kNの時のひずみイメージ





32.5 kNの時の<u>ひずみイメージ</u>







荷重解放後の時のひずみイメージ



② マルチブラッグエッジ解析による 応力ひずみイメージング結果



マルチブラッグエッジ解析による10kNの時の応力イメージ



マルチブラッグエッジ解析による 20 kNの時の応力イメージ



マルチブラッグエッジ解析による25 kNの時の応力イメージ



マルチブラッグエッジ解析による 27.5 kNの時の応力イメージ



マルチブラッグエッジ解析による 30 kNの時の応力イメージ



マルチブラッグエッジ解析による 32.5 kNの時の応力イメージ



マルチブラッグエッジ解析による 40 kNの時の応力イメージ



マルチブラッグエッジ解析による 49 kNの時の応力イメージ



マルチブラッグエッジ解析による荷重解放後の応力イメージ



マルチブラッグエッジ解析によって得られた応力の荷重依存性



塑性変形が始まる49 kNで応力が減少する。

→ <mark>降伏現象</mark>を反映したものと考えられる。

 $d_{hkl} = \frac{a_0}{\sqrt{h^2 + k^2 + l^2}} \left[1 + \frac{1}{E_{hkl}} \{ \sigma_z - v_{hkl} (\sigma_x + \sigma_y) \} \right]$ MBE解析の{*hkl*}面の 結晶格子面間隔の決定方法



<u>マルチブラッグエッジ解析による</u> 新しい応力ひずみイメージング法の開発

- 無ひずみ格子定数と応力をフィッティングパラメータとするマルチブラック
 グエッジ解析法を開発した。
- 飛行時間分析の時間原点のオフセットを補正すると、良好なフィッティング結果になった。
- マルチブラッグエッジ解析により、シングルブラッグエッジ解析と同様の ひずみイメージングを安定的に行うことができた。
- ビーム透過方向と直交方向の応力イメージングの結果から降伏現象 を確認できた。