

課題番号 : 2015A-E21
 利用課題名 (日本語) : 加工に伴う電磁鋼板の歪み分布測定
 Program Title (English) : Residual Stress Measurements of Electrical Steel with Cutting Processing
 利用者名(日本語) : 土井 智史¹⁾, 伊藤 登史政¹⁾, 青木 哲也¹⁾, 妹尾 剛士¹⁾, 岡崎 恵一¹⁾, 小澤 正恒¹⁾, 菖蒲 敬久²⁾
 Username (English) : S. Doi¹⁾, T. Ito¹⁾, T. Aoki¹⁾, T. Senoo¹⁾, K. Okazaki¹⁾, M. Ozawa¹⁾, T. Shobu²⁾
 所属名(日本語) : 1) (株)デンソー, 2) (国)日本原子力研究開発機構
 Affiliation (English) : 1) DENSO CORPORATION, 2) Japan Atomic Energy Agency
 キーワード : モータ、電磁鋼板、加工歪、角度分散法

1. 概要 (Summary)

モータの製造工程における打抜き等の量産性を重視した加工法は、材料中に磁壁移動を妨げる原因となる残留歪を伴う為、損失増大の要因となる。特に小型高効率モータは加工歪による損失増大が顕著な為、影響を十分に検証する必要がある。しかし従来は試作機による評価/確認に頼っていた為、工数増大および最適化困難という問題があった。そこで我々は、加工歪の影響を高精度に予測する磁場シミュレーション手法の開発を検討中である。予測手法開発には無方向性電磁鋼板の加工歪分布を把握することが重要となるが、粗大粒且つ局所的な歪分布の為、従来のラボ X 線では十分な回折強度を得ることが出来ない。そこで今回、高エネルギー放射光測定に角度分散法を適用した打抜き歪分布の測定を実施、その内部分布詳細に明らかにした。

2. 実験(目的,方法) (Experimental)

実験① : 弾性ひずみを均一に与えた状態の無方向性電磁鋼板のサンプルを準備し、高エネルギー放射光単色 X 線を利用した角度分散法と、鋼板表面に貼り付けた歪ゲージによる計測値との比較を行い、本材料におけるひずみ測定方法の妥当性評価を行う。

【測定方法】 : ダンベル試験片に歪ゲージの計測値が 500 μ ST となるように小型引張試験にて歪を付与した状態で、回折計に垂直に立て、Ge 半導体検出器にて、試験片の長手方向のひずみを計測する。

【装置】 BL22XU
【材料】 : 無方向性電磁鋼板 (結晶粒径 : 50 μ m)
【サンプル形状】 : ダンベル試験片 (図 1、表 1 参照)

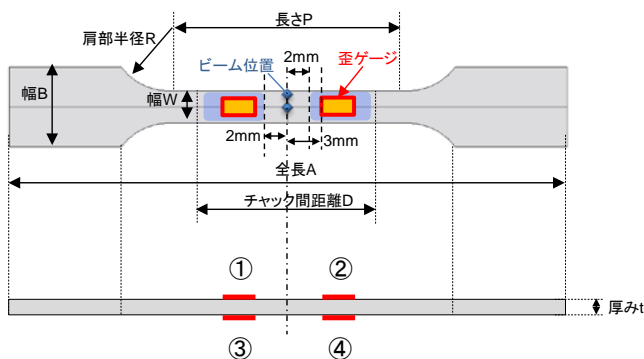


図 1 試料形状および歪ゲージ貼り付け位置

表 1 試料の詳細寸法

寸法	幅 W	平行部長さ P	肩部半径 R	つかみ部の幅 B	全長 A	厚み t	チャック間距離 D
mm	4.0	30	15	10	70	0.5	20

実験② : 予めシャーにてカットした無方向性電磁鋼板のサンプルを準備し、高エネルギー放射光単色 X 線を利用した角度分散法によってカット端面からの応力/歪の分布を評価する (図 2)。

【測定方法】 : 試験片を回折計に垂直に立て、Ge 半導体検出器が搭載された 2θ アームを天地、水平方向に移動させて、試験片の長手、および板厚方向のひずみ分布を計測する。特に今回実験では信頼性の高いデータを得ることを目的に、

- ① 試料幅方向の歪は均一とし幅方向に揺動させ回折光が最も強く得られる位置 (結晶粒) を検出し、
- ② その位置で角度方向の回折パターンを計測。(図 2)

【装置】 BL22XU
【材料】 無方向性電磁鋼板 (結晶粒径 : 50 μ m)
【サンプル形状】 : 短冊 (板厚 t 0.5mm × 全長 90mm × 幅 20mm)
【測定位置】 切断端面から 3mm (0-1mm を 0.1mm 間隔, 1-2mm を 0.2mm 間隔, 2-3mm を 0.5mm 間隔)。また深さ方向は 0.1mm 間隔とした。

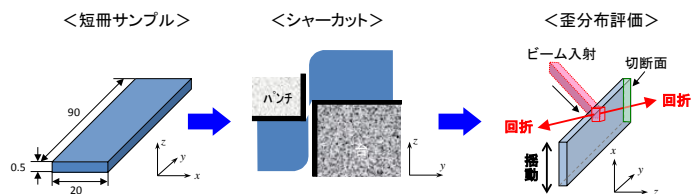


図 2 測定概要

3. 結果と考察 (Results and Discussion)

実験① : 図 3 に歪ゲージが無負荷 (0 μ ST) 時および負荷時 (500 μ ST 狙い) の状態の回折パターン測定結果、およびガウスフィッティング結果を示す。まず測定結果より、回折強度は 5000-20000 カウント程度と十分な強さを得ている。歪 ε はブラッグの条件を基に下式より算出し、474 μ ST であった。

$$\epsilon = \frac{\sin\theta_0}{\sin\theta_1} - 1$$

一方、歪ゲージの測定結果を表 2 に示す。各位置で歪ゲ

ージの測定結果にバラツキが確認されるが、中心付近では平均的な歪が付与されていると仮定すると、 $491 \mu\text{ST}$ 程度であり、回折結果との誤差は4%ほどと小さく、回折による測定法の妥当性を確認できたと言える。バラツキ要因は、無応力時にバラツキは無かったことから、引張試験器への取付け精度の問題と考えられる。

4. その他・特記事項 (Others)

なし。

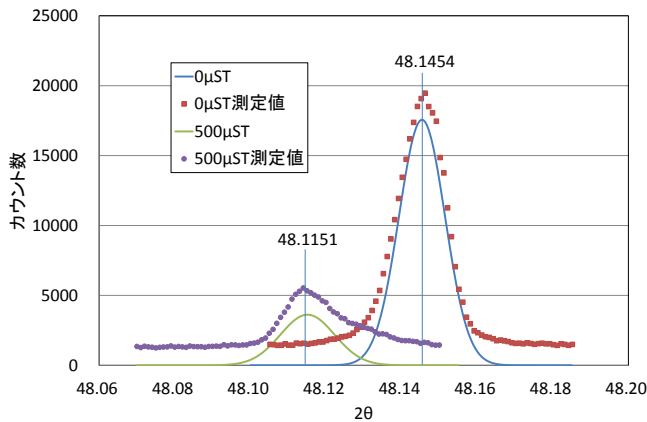


図3：回折パターン測定結果（引張試験片）

表2 歪ゲージによる歪測定結果

位置	①	②	③	④	平均
歪[μST]	472	487	500	506	491

実験②-1 長手方向の歪分布：

図4 (a)に残留応力分布を、図4 (b)に半価幅の分布を示す。応力分布図から、ダレ面の端部にて引張応力が、バリ面の端部で圧縮応力が内部で引張応力が確認された。最大歪は約 $700 \mu\text{ST}$ 程度。また切断面から約 0.5mm より離れた位置では、歪はほぼ零であった。また半価幅分布より塑性歪は端部より 0.25mm 程度の範囲であった。これらの測定結果は構造シミュレーションによる歪計算結果の傾向とよく一致することを確認している。

実験②-2 板厚方向の歪分布：

図4 (a)に残留応力分布を、図4 (b)に半価幅の分布を示す。切断部近傍のダレ側上面にて圧縮応力が確認できるも、打抜き影響部全体の明確な歪分布を得るには至らなかった。特に板厚方向内部の測定点において、明確な回折ピークが出ず解析不可能な点が多く見られた。これは、板厚方向の歪回折は反射法により測定したため、試料内でのX線の減衰が顕著であったためと推察する。

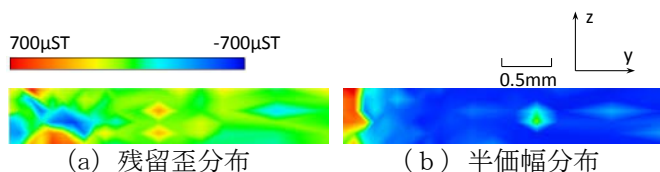


図4 長手(y軸)方向の分布

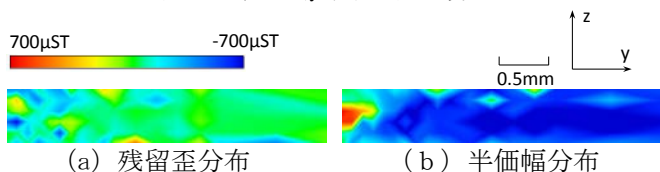


図5 板厚(z軸)方向の分布