

残留磁束密度変化の検出による応力場の評価

(財) 鉄道総合技術研究所 材料技術研究部 森 久史 藤本 浩之 辻村 太郎
 国立大学法人 豊橋技術科学大学工学部 電気・電子工学科 太田 昭男

1 はじめに

材料の損傷評価および寿命予測を非破壊で検討するためには、破壊力学による材料評価が必要になり、特に残留応力、集中応力、塑性域等の応力場を測定する技術が重要である。過去の応力場評価には、X線回折法、光弾性法、超音波顕微鏡 $V(z)$ 法などが適用あるいは検討されてきた。本論文では、ホール素子を用いて磁束密度を測定し、応力場を非破壊評価する原理、モデルおよび測定例を紹介する。

2 応力場の測定原理

材料内部に特定の応力場 Ω が存在する時、 Ω 内には内部応力 (σ_i) で格子に乱れが生じている。内部応力を含む系に、外部から磁場 (H) を印加すると、 Ω 内における磁壁移動がピンニング、核生成、回転磁化反転などの抵抗を受け、その結果、磁気モーメント (M') の増加とともに自発磁化の乱れが生じ磁束密度 B' が変化する。本手法による応力場の評価は、 M' の増加を磁束密度の変化として検出するものである。

3 応力場の評価モデル

自発磁化の乱れによる B' と σ_i との関係を考察するためのモデルを図1に示す。測定材料への磁場印加 (H) において Ω 内の M' は式 (1) で求められる。

$$\mu_m = \frac{cM'^2}{(K + \lambda\sigma_i)} \quad (1)$$

ここで、 μ_m は材料の透磁率、 c は定数、 K は異方性定数、 λ は磁歪定数、 σ_i は内部応力である。以上より、磁束密度は式 (2) で求められる。

$$B' = \mu_m H + M' \quad (2)$$

式 (1) および式 (2) と自発磁化の条件 ($H \rightarrow 0$) から B' と σ_i との関係は、式 (3) となる。

$$\sigma_i = \frac{cB'^2}{\lambda\mu_m} - \frac{K}{\lambda} \quad (3)$$

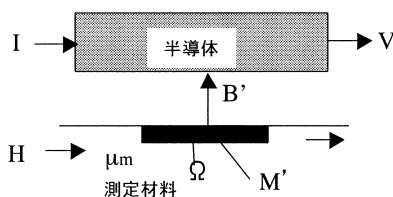


図1 残留磁束密度増分と応力場の関係

4 技術の概要

2 および 3 のモデルに従い、変形を受けている部分の中央平面をホール素子に対向するように配置する。ホール素子に電流 (I) を印加すると、ローレンツ力およびホー

ル効果が生じ、式 (4) のように、形成磁場と印加電流との関係からホール電圧 (V) が誘導される。

$$V = -\frac{BI}{ned} \quad (4)$$

ホール素子による応力場の評価では、 B' の変化を V で検出し、検出電圧から磁場を求める。

5 測定例

バフ研磨により表面仕上げを行った炭素鋼 (20mm × 20mm × 5mm) の板にピッカーズおよびロックウエル硬度計を用いて 4.9N ~ 980N の負荷を与え、圧痕対角から 50 および 100 μ m の位置にホール素子を配置して磁気測定を行い、負荷荷重と B' との関係を求めた。測定ホール素子は GaAs (AREPOC 社 HHP-VP 型) であり、測定点ホール電圧をナノボルトメータで計測し、パソコン処理により表面自発磁場を求めた。図2に負荷荷重と測定磁場との関係を示す。

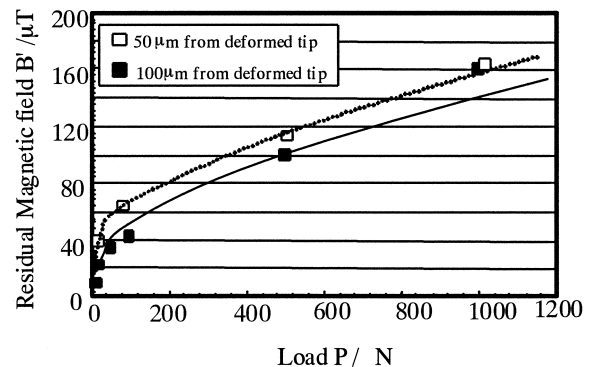


図2 荷重と磁束密度との関係

ここで、式 (3) を荷重条件に変形すると下記の式 (5) を得る。

$$P = -\frac{cB'^2}{\lambda\mu_m} A - \frac{K}{\lambda} A \quad (5)$$

ここで A は圧痕面積である。図に示すように、荷重と残留磁場との関係は式 (5) の傾向にあることがわかる。このことから、磁束密度の変化量は残留応力と相関があると考えられる。以上より、ホール素子の磁束密度を測定して、物体内部の応力場が評価できると考えられる。

6 むすび

ホール素子を用いて磁束密度を測定し、材料内の応力場の評価に対する可能性を定性的に示すことができた。今後は定量的評価を可能にするために、実験データを充実させる。