

FG センサを用いた高精度損傷評価技術

High Accuracy Damage Evaluation Technique Using FG Sensor

産業技術総合研究所先進製造プロセス研究部門 鈴木 隆之 Takayuki SUZUKI Member
筑波大学大学院システム情報工学研究科 [学] 寺崎 亮実 Akimitsu TERASAKI
産業技術総合研究所先進製造プロセス研究部門 笹本 明 Akira SASAMOTO
産業技術総合研究所先進製造プロセス研究部門 西村 良弘 Yoshihiro NISHIMURA
筑波大学大学院システム情報工学研究科 寺本 徳郎 Tokuo TERAMOTO Member

Magnetic flux leakage measurements were performed by using a fluxgate sensor. For an artificial defect of 0.3mm width of SS400 steel, changes in perpendicular magnetic flux leakage B_z could be measured at a lift off height of 5mm, and changes in longitudinal magnetic flux leakage B_y could be measured at a lift off height of 10mm. For artificial surface defects, magnetic flux density distribution of B_y was well correlated to the shape of the defects. In-situ magnetic flux density measurement B_y for permalloy under tensile loading exhibited that B_y increased with increasing stress.

Keywords: Magnetic Flux Leakage, FG Sensor, Defect, Ferromagnetic Materials, Stress, In-situ Measurement

1. はじめに

近年、機器・構造物が大型化、複雑化し、その健全性確保のため、より高度の損傷評価技術が求められてきている。機器・構造物の多くは磁性材料から構成されており、したがって、漏洩磁束法 (Magnetic Flux Leakage Technique ; MFL 法) 等電磁気を用いた非破壊損傷評価法が有効である。[1-2]

これらの電磁気を用いた磁気センサには、従来は主にホール素子等が用いられてきたが、近年では様々な高感度の磁気センサが開発されてきている。なかでも、フラックスゲートセンサ (Fluxgate Sensor, FG センサ) は、 10^{-6} T 以下の高感度測定が可能であり、また測定範囲も大きく、従来と比較し小型化されてきている。

本研究においては、FG センサを用いて、磁性構造材料である SS400 を対象に様々な欠陥幅や断面形状を有する欠陥の評価を行い、本センサを用いた場合の最適な測定条件を探索した。また、Ni-Fe 合金の荷重負荷過程における磁束密度の測定を行い、応力との関係を明らかにした。さらに、これらの結果より FG センサを用いた損傷評価システムに関する検討を行った。

連絡先: 鈴木隆之、〒305-8564 茨城県つくば市並木 1-2-1 産総研つくば東、先進製造プロセス研究部門, suzuki-takayuki@aist.go.jp

2. 試験片および実験方法

2.1 模擬欠陥の磁束密度測定

欠陥材には一般構造用圧延鋼板 SS400 を用いた。その試験片形状を Fig.1(a)、(b)に示す。(a)の欠陥断面の形状は長方形であり、(b)は半円および三角形である。

試験片はネオジム磁石で長手方向に着磁を行った着磁材と、その後消磁を行った消磁材とを用いた。

測定には FG センサ、X-Y ステージ、コントローラ、コンピュータ等から構成される非破壊損傷評価システムを用いた。FG センサの径はおおよそ 1x3mm であり、 $\pm 5 \times 10^{-4}$ T の範囲の磁束密度の測定が可能である。

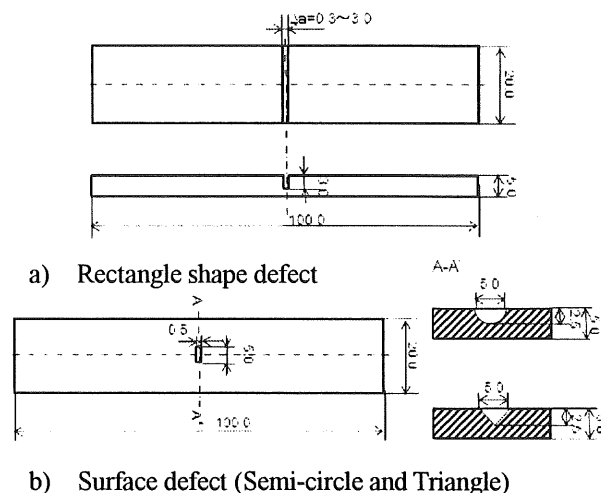


Fig. 1 Shape and dimensions of specimen.

2.2 荷重負荷過程中的の磁束密度測定

荷重負荷過程中的の磁束密度測定にはNi-Fe合金(パーマロイ)の平滑材(40×0.2×0.1mm)を用いた。FGセンサを試験片中央部(リフトオフ0.5mm)に設置し、荷重負荷過程中的における長手方向の磁束密度 B_y の変化を測定した。

3. 実験結果および考察

3.1 模擬欠陥の磁束密度測定

(1) 着磁材

Fig.2(a), (b)にはFig.1(a)の試験片で欠陥幅0.3mmの場合の着磁材の鉛直方向および長手方向の漏洩磁束密度分布 B_z , B_y をそれぞれ示す。 B_z の場合にはリフトオフが5mmまで、 B_y の場合にはリフトオフが10mmまでは、欠陥を有する場合の典型的な漏洩磁束密度分布が得られていることがわかる。

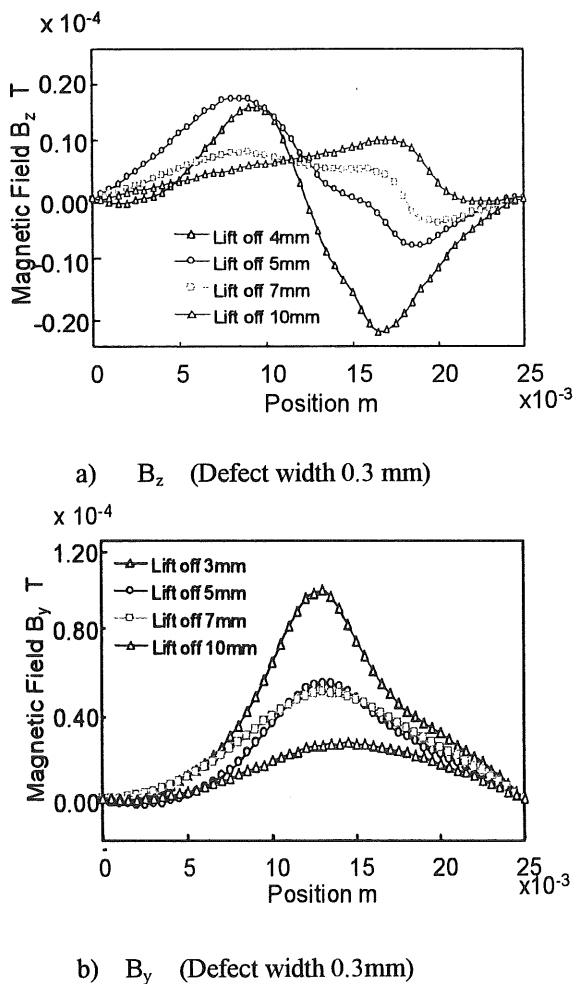


Fig. 2 Changes in magnetic flux densities near defect for SS400 magnetized specimen.

したがって、FGセンサを用いることにより、通常のホールセンサ等の磁気センサと比較し、極めて大きなリフトオフから欠陥を検出できることが可能である。

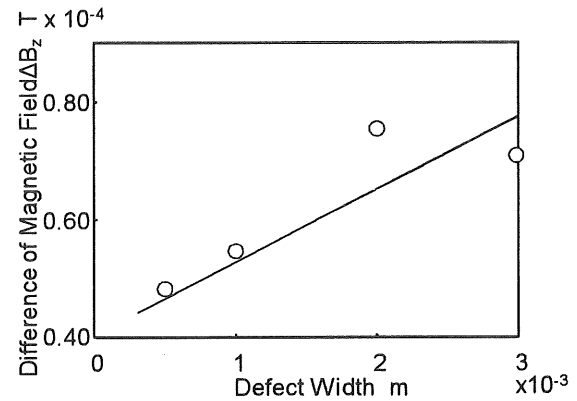


Fig. 3 Relationship between ΔB_z and defect width at a lift off height of 4mm.

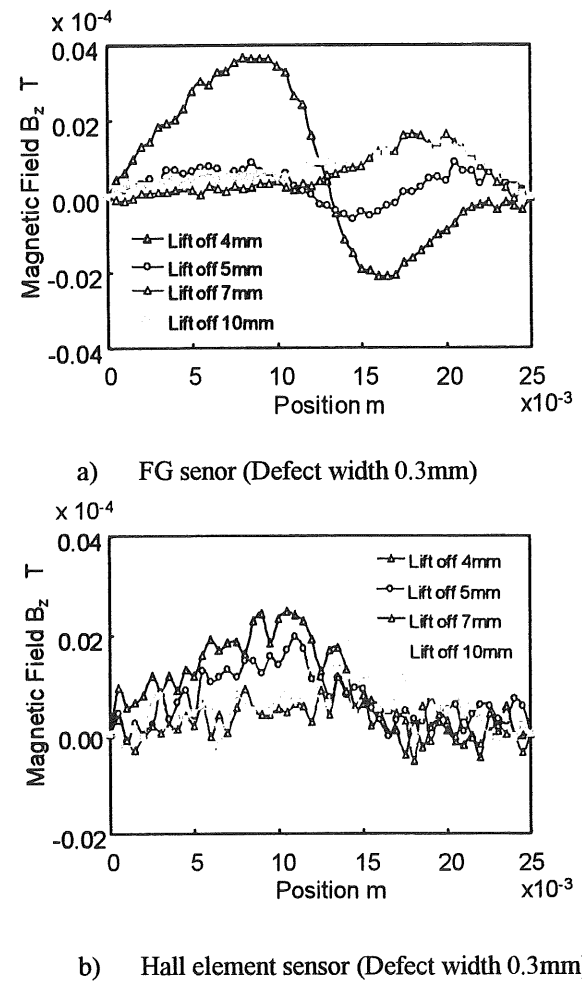


Fig. 4 Changes in magnetic flux densities near defect for SS400 demagnetized specimen.

Fig. 3にはリフトオフ4mmの場合の極値間の漏洩磁束密度の差 ΔB_z と欠陥幅との関係を示す。欠陥幅と ΔB_z との間には対応関係が認められ、欠陥幅の増加とともに ΔB_z は増大する。したがって予めこの関係を取得しておけば、欠陥幅の推定も可能であると考えられる

(2) 消磁材

Fig.4(a)には消磁材の場合のFGセンサによる漏洩磁束密度分布 B_z を示す。消磁処理を行ったあとの微小な残留磁化を測定することにより、リフトオフ4mmで欠陥に対応した磁束密度の測定が可能であることがわかる。一方、Fig.4(b)にはホール素子による測定結果を示す。ホール素子では、高調波が重畳しており欠陥に起因する正確な漏洩磁束密度分布を得ることができない。このように、FGセンサを用いることにより、着磁の条件を緩和することができると考えられる。

(3) 表面欠陥

Fig.5にはFig.1(b)の着磁材の長手方向の漏洩磁束密度分布 B_y を示す。リフトオフが1mmと比較的小さい場合の結果であるが、漏洩磁束密度分布より試験片の欠陥の表面位置を同定することがほぼ可能である。

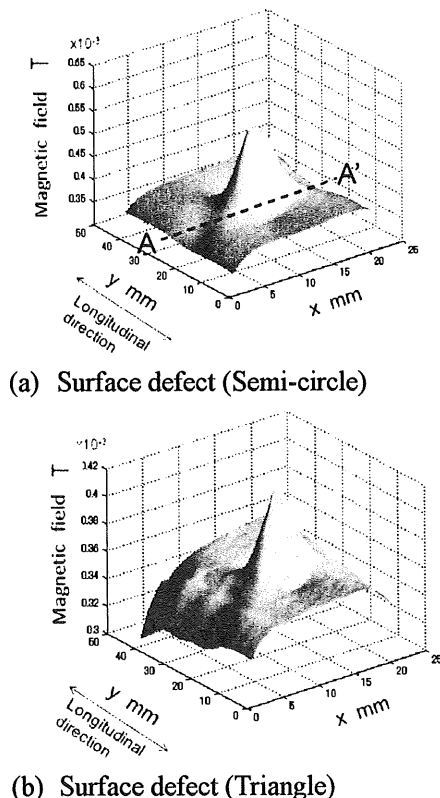


Fig. 5 Magnetic flux density distribution B_y around surface defects for SS400 magnetized specimen.

また、漏洩磁束密度分布は欠陥の断面形状とも対応しており、半円を有する欠陥の場合の方が、三角形形状の断面を有する場合よりも大きな磁束密度分布が測定されている。したがって、これらのデータを集積することにより、漏洩磁束密度分布 B_y から欠陥形状の推定も可能であると考えられる。

3.2 荷重負荷過程中的磁束密度測定

Fig.6にNi-Fe合金の薄板材に引張荷重を付加した場合のFGセンサの磁束密度 B_y と応力との関係を示す。応力レベルは弾性域の範囲であるが、応力の増加とともに B_y が増大していることが確認できる。したがって、構造部材の荷重状態を予測すること、さらには塑性変形の開始の検知を予測することも十分可能であると考えられる。

4 おわりに

FGセンサを用いた非破壊損傷評価に関するいくつかの成果について述べた。リフトオフを大きく取ることができる、磁化に関する条件を緩和できる等の点は非破壊評価のみならず機器・構造物のモニタリングへも発展させることができる可能性を有する。

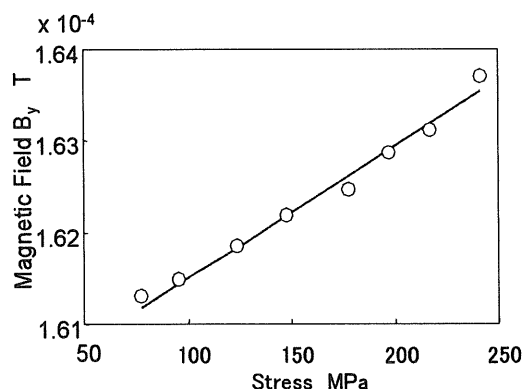


Fig. 6 Relationship between magnetic flux density B_y and stress for Ni-Fe alloy.

参考文献

- [1] S. TAKAYA et al., "Magnetic Property Change of SUS304 Steel Due to Fatigue at Elevated Temperature", Electromagnetic Nondestructive Evaluation, IX, 2004, pp.167-174.
- [2] 中曾根祐司他, SUS304 鋼貫通および非貫通き裂面上の塑性誘起マルテンサイト相の分布, 日本保全学会第4回学術講演会要旨集, 2007, pp.119-122.