

渦電流磁気指紋法による炭素鋼の残留ひずみ評価

Nondestructive Evaluation of Residual Strain in Carbon Steels by Eddy Current Magnetic Signature Method

東北大学大学院工学研究科	松本 貴則	Takanori MATSUMOTO	Student Member
東北大学 流体科学研究所	内一 哲哉	Tetsuya UCHIMOTO	Member
東北大学 流体科学研究所	高木 敏行	Toshiyuki TAKAGI	Member
中部電力 (株)	阿部 悟	Satoru ABE	Member
中部電力 (株)	熊野 秀樹	Hideki YUYA	Member

This study aims at proposing a novel magnetic testing method, eddy current magnetic signature method for evaluation of residual strain in carbon steels. This method characterizes the eddy current magnetic signatures that is eddy current signals in an impedance plane during magnetization process. In order to discuss the feasibility of this method, eddy current magnetic signatures of a set of tensile test specimens are investigated. The relationship between eddy current signature and plastic deformation is discussed. It is observed that the trajectories of the eddy current signals are significantly changed by residual strain.

Keywords: Electromagnetic Nondestructive Evaluation, Carbon Steel, Residual Strain

1. 緒言

原子力発電所が地震に遭遇した場合には、基本点検と地震応答解析の結果に応じて非破壊試験による残留ひずみの測定がガイドラインにより定められている[1]。これは残留ひずみが低サイクル疲労強度を低下させる可能性があるからであり、数%以下の残留ひずみについては硬さ試験との相関が報告されている。しかし、硬さ試験を十分な精度で行うには膨大な測定回数が必要で多大な労力を要する。したがって、硬さ試験に替わる簡便かつ信頼性の高い新たな残留ひずみの非破壊評価手法が求められている。

本研究では、炭素鋼における低残留ひずみを定量的に非破壊評価するために、新しい磁氣的試験法である渦電流磁気指紋法を提案し、その可能性について検討する。数%程度までの残留ひずみを有する炭素鋼引張試験片を作製し、引張試験片の渦電流磁気指紋を取得する。渦電流磁気指紋と残留ひずみとの関係性ならびに引張方向と圧延方向の依存性について議論を行う。

2. 引張試験片および渦電流磁気指紋法

本研究では、ボイラ及び圧力容器用炭素鋼 SB410 の引張試験片を作製した。引張試験片の平行部の長さは 98 mm、幅は 20 mm、厚さは 8 mm である。引張試験片の引張方向が圧延方向と水平または垂直になるよう 2 種類の試験片を作製した。引張試験は室温環境でゲージ長 50 mm のクリップゲージを用いて変位制御で行った。試験条件として、クロスヘッド速度を 1 mm/1 min とし、目標ひずみ到達後 30 秒保持した後、-1 mm/1 min の速度で除荷した。最終的な残留ひずみは試験片中央部に貼り付けたひずみゲージの値を採用した。

Fig. 1 に本研究で提案する渦電流磁気指紋法の実験装置体系を示す。渦電流磁気指紋法の測定原理は増分透磁率法の測定原理に基づいている[2]。増分透磁率の定義は低周波磁場に更なる微小高周波磁場を印加した際のマイナーループの比透磁率である。そのため U 字型ヨークを用いて試験片に磁場振幅 15 kA/m、周波数 0.1 Hz の低周波磁場を印加し、試験片の上に設置した ECT コイルにより 50 kHz の微小高周波磁場を更に印加する。その際の ECT コイルインピーダンスは増分透磁率に比例することから LCR メータを用いて測定する。測定したコイルインピーダンスは位相平面上に描くことができ、印加した交

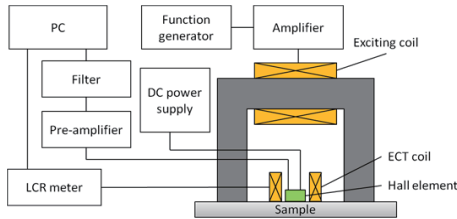


Fig. 1 Experimental setup.

流磁場の変動に伴い Fig. 2 のような特徴的な軌跡を描く。この軌跡を渦電流磁気指紋と本研究では呼称する。

LCR メータによりコイル電流の実効値を 5 mA に制御した場合のインピーダンスを測定する。ECT コイルの外径は 3.95 mm、内径は 3.3 mm、高さは 3.0 mm、巻数は 200 回、導線の太さは 0.05 mm である。また、印加した磁場はホール素子により測定する。

3. 実験結果および考察

引張方向と圧延方向が平行な試験片の渦電流磁気指紋を Fig.2 に示す。ここでは残留ひずみ評価のために印加磁場が最大となる点を原点として位相平面上で信号を平行移動している。渦電流磁気指紋は保磁力周辺でループを描き、飽和するに従いループが閉じ直線的な軌跡を描いている。Fig. 2 に示すように残留ひずみの増加に伴い渦電流磁気指紋が反時計回りに移動しており、原点からの最大距離すなわちインピーダンス絶対値が減少傾向にあることが確認できる。引張方向と圧延方向が垂直な試験片においても同様の傾向が確認できたが、無ひずみの試験片においては位相およびループ形状の傾向が異なることが確認された。Fig. 3 に原点から最大距離と残留ひずみの関係を示す。残留ひずみの増加に伴い圧延方向と引張方向の違いに因らず最大距離が指数関数的に減少することが確認できた。

4. 結言

本研究では、新たに提案した渦電流磁気指紋法を用いて炭素鋼 JIS SB410 の低残留ひずみの非破壊評価について検討を行った。その結果、圧延方向の違いに依存せず、残留ひずみの増加に伴い渦電流磁気指紋が反時計回りに遷移することが確認された。無ひずみ状態の渦電流磁気指紋は圧延方向に依存することがわかった。渦電流磁気指紋の原点からの最大距離は残留ひずみの増加に伴い、圧延方向によらず指数関数的に減少することがわかった。

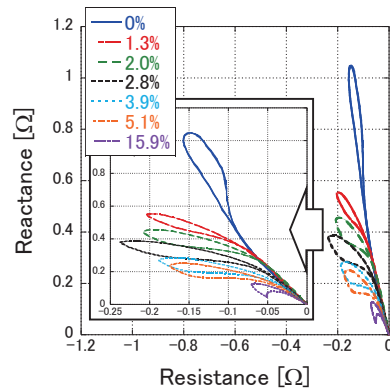


Fig. 2 Trajectories of eddy current signals in complex plain with tensile test specimens.

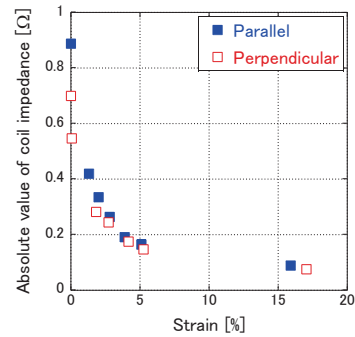


Fig. 3 Relationship between residual strain and distance from origin to top of the loop.

以上のことから、渦電流磁気指紋法を用いた炭素鋼の残留ひずみ評価の可能性が示された。

謝辞

本研究は、独立行政法人日本学術振興会の研究拠点形成事業 (A. 先端拠点形成型)「省エネルギーのための知的層材料・層構造国際研究拠点」、日本学術振興会平成 28 年度二国間交流事業 (ハンガリーとの共同研究) および特別研究員奨励費 (16J04522) の助成ならびに中部電力(株)原子力安全技術研究所 2016 年度公募研究による。

参考文献

- [1] 日本原子力技術協会、地震後の機器健全性評価ガイドライン、JANTI-SANE-G2、2012.
- [2] A. Yashan and G. Dobmann, Measurement and Semi-analytical Modeling of Incremental Permeability using Eddy Current Coils in the Presence of Magnetic Hysteresis, Electromagnetic Nondestructive Evaluation VI, IOS Press, 2002, pp.150-157.