

磁気センサを用いた磁気特性測定による非破壊材質評価

Non-destructive Material Evaluation by Measuring Magnetic properties by Magnetic Sensors

大分大学工学部	甲斐 祐一郎	Yuichiro KAI	
大分大学工学部	槌田 雄二	Yuji TSUCHIDA	Member
大分大学工学部	榎園 正人	Masato ENOKIZONO	Member

Abstract

This paper presents a non-destructive evaluation method to evaluate hardness and hardening depth of carbon steels by measuring magnetic properties. Magnetic properties of carbon steel samples under different hardening temperature condition are examined by using the FSES method. The results show that the magnetic properties of the hardened carbon steels differ from each other depending on the hardening temperature. It can be said that the FSES method is useful to evaluate the hardening depth and the hardness.

Keywords: 5-10key words,

Magnetic property, Carbon Steel, Hardening, Material evaluation, Magnetic sensor, Non-destructive Evaluation.

1. はじめに

機械部品の焼入れ深さの評価方法として、機械的手法の1つである硬度試験が用いられている。この方法は、焼入れされた機械部品を切出し、その断面の硬度を測定することで有効焼入れ深さを決定する。しかしながら、試料を破壊するため別途参照試料が必要であり、実際の製品の焼入れ深さや度合いを評価することは不可能である。そのため、焼入れ深さや度合いを非破壊評価することが望まれ、これまでも電磁気的手法を用いた様々な研究が行われてきた[1-2]。著者らも、電磁気的手法を用いた焼入れ深さや度合いの非破壊評価法をこれまで検討してきた。まず、表面焼入れされた炭素鋼から切出しリング試料を作製し、深さごとの磁気特性を明らかにした。次に、試料表面から焼入れ深さや度合いを非破壊評価するため、周波数を変化させ、深さ方向の情報を得ることを目的とした周波数探査法の検討を行ってきた[2]。さらに、表面から磁束密度及び磁界強度を測定する磁気センサを開発し、周波数ごとの磁気特性を検討した[3]。

本論文では、周波数探査法の1つとして、周波数掃引励磁スペクトログラム法を開発し、焼入れ炭素鋼の磁気特性評価を行った。その際に、異なる焼入れ温度条件下で作製された炭素鋼の磁気特性を測定し、焼入れ評価に有効なパラメータを検討したのでその結果を報告する。

2. 焼入れ炭素鋼の周波数に対する磁気特性評価

まず、焼入れ炭素鋼を深さ方向にリング試料に切出し、各試料の交流磁気特性の評価を行なった。切出しリング試料は、有効焼入れ深さが2mmの円柱状炭素鋼から作製し、切出しリング試料の表面から順に、Surface, Boundary, Interior-1, Interior-2, Interior-3と名づけた。Fig. 1に単位周波数あたりの磁気損失 W_m/f を示す。ここで、 $f=0$ における W_m/f の切片はヒステリシス係数、勾配は渦電流係数を意味する。Fig. 1に示すように W_m/f は、どの試料も周波数に対して直線的に変化している。Surfaceのヒステリシス係数は、InteriorやBoundaryと比較して小さくなっていることから、焼入れの影響によってSurfaceの磁気特性が劣化していると考えられる。一方、SurfaceとBoundaryの W_m/f はほぼ同じ傾きであるが、Interiorの傾きが最も大きい。この傾きは、

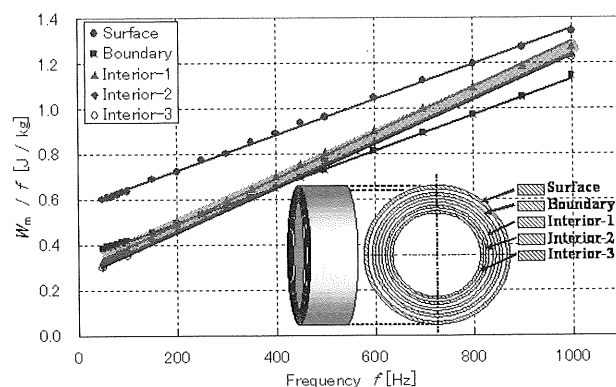


Fig.1 Magnetic property of cut-out ring type specimen
渦電流係数を表しており、Interiorでは、他の部分と

連絡先: 槌田雄二, 〒870-1192 大分市旦野原 700
番地, 大分大学工学部, 電話: 097-554-7824,
E-mail: tsuchida@oita-u.ac.jp

比較して渦電流の影響を強く受けていると考えられる。以上の結果から、ヒステリシス及び渦電流係数を評価し、各試料間の磁気特性に変化が得られているため、これらのパラメータを焼入れ深さや度合いの評価に利用できると考えられる。

3. 焼入れ炭素鋼の周波数に対する磁気特性評価

Fig. 2 に磁気センサの構造を示す。励磁コアにはフェライトを使用し、B コイルとログスキー・チャットコイルを用いて、磁束密度と磁界強度を測定した。Table 1 には、焼入れ温度条件を示す。

Fig. 3 に異なる焼入れ温度条件下で作製された試料のスペクトログラムを示す。Non-hardening は、スペクトログラムの変化がほとんどない。しかしながら、焼入れ試料の場合、磁気センサが試料中央部に近づくにつれてスペクトログラムの変化が大きくなる。さらに、焼入れ温度が高くなるにつれて、中央付近のスペクトログラムの変化が大きくなっている。以上の結果より、スペクトログラムを評価することで、焼入れ温度の違いを評価することが可能である。

4. まとめ

本論文では、焼入れ深さ及び度合いを評価するため、周波数掃引励磁スペクトログラム法を用いて磁気特性評価を行った。以下に得られた知見をまとめる。

- (1) 焼入れ炭素鋼から切出しリング試料の交流磁気特性を測定し、ヒステリシス及び渦電流係数が各試料間で異なることがわかった。その結果、これらのパラメータを用いることで焼入れ深さや度合いを評価可能である。
- (2) 周波数掃引励磁スペクトログラム法を用いることで、焼入れ温度条件の違いだけでなく焼入れ幅や領域の評価が可能であり、今後、焼入れ製品の製造支援技術に応用できると考えられる。

参考文献

- [1] 武尾文雄, 中島佳奈子, "4 探針法による高周波焼入れ深さの非破壊評価," *非破壊検査*, 52[1], 39-44 (2004).
- [2] Y. Kai, Y. Tsuchida, and M. Enokizono, "Non-destructive Evaluating of Case Hardening by Measuring Magnetic Properties," *Studies in Applied Electromagnetics and Mechanics*, 25, 143-150 (2005)

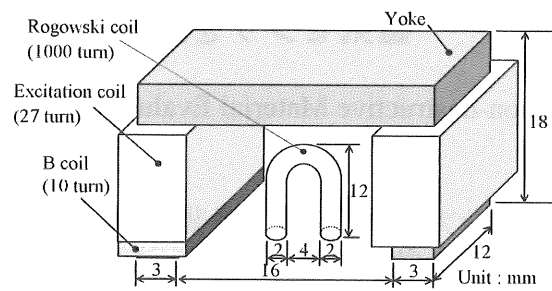


Fig.2 Shape and dimension of specimen.

Table 1 Hardening temperature.

Hardening temperature [°C]	Cooling method
Non-hardened	
600	Water
760	Water
810	Water
900	Water

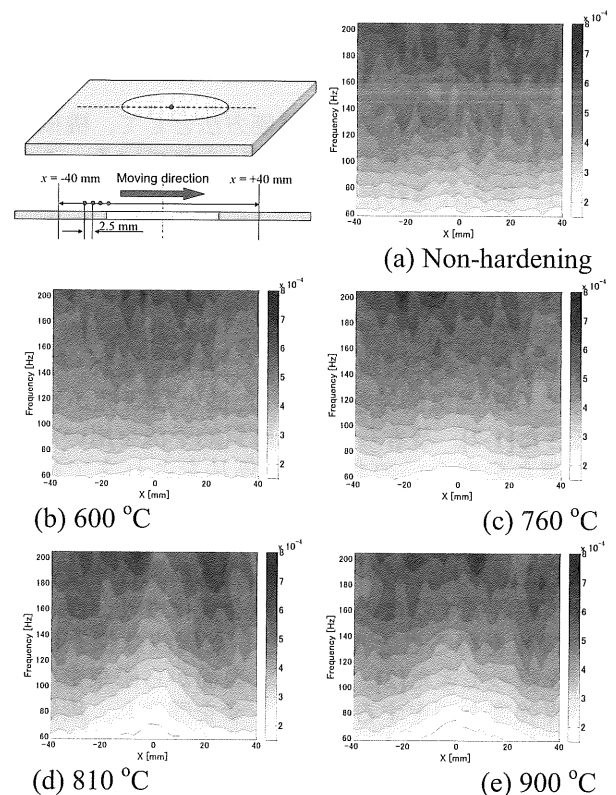


Fig.3 Spectrogram of whfi under different hardening temperature conditions.

- [3] Yuichiro KAI, Yuji TSUCHIDA and Masato ENOKIZONO, "Non-destructive Evaluation of Hardening Carbon Steel by Measuring Hysteresis loops," *Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics*, 15, S112-S115 (2007)