

磁気センサを用いた高クロム鋼の非破壊劣化損傷評価

Non-destructive evaluation for high chrome Fe-based steels by using a magnetic sensor

大分大学工学部 樋田 雄二
大分大学工学部 榎園 正人

Yuji TSUCHIDA Member
Masato ENOKIZONO Member

Abstract: This paper presents a non-destructive evaluation for high chrome Fe-based steels by using a magnetic sensor. In order to make clear the fundamental magnetic properties related to tensile strain damage and fatigue damage, the magnetic measurement apparatus, which can measure the magnetic flux density and the magnetic field strength by B-coil and H-coil, was developed. And then the relationships between the damages and the measured magnetic properties are shown to discuss the capability of a non-destructive testing for high chrome Fe-based steels.

Keywords: Non-destructive evaluation, Magnetic sensor, B-H loops, High chrome Fe-based steels

1. はじめに

本研究では、クリープ・疲労劣化損傷評価に適用可能な磁気センサ・計測技術を開発するため、独自に磁気センサを設計・製作し、非破壊劣化損傷評価システムの開発を行った^[1]。まず、改良9Cr鋼に対して引張ひずみ損傷と疲労損傷を与え、各損傷材の磁気特性を計測した。その結果、鋼材の磁気特性をあらわす磁気履歴曲線（B-Hループ）が各損傷度合によって相関をもって変化することが分かり、改良9Cr鋼の損傷度合を磁気センサによって非破壊的に評価できる可能性を見出した。本論文では、改良9Cr鋼の引張ひずみ試験片と疲労試験片に対して、各損傷度合と磁気特性の相関について検討した結果について報告する。

2. 磁気特性測定システム

2.1 測定システム

今回製作した磁気計測システムのブロック図を図1に示す。電磁誘導の法則により、測定試料に巻かれたBコイルと測定試料近傍に設置されたHコイルには誘導電圧が発生し、それぞれの電圧はデジタルオシロスコープを用いて測定することが出来る。デジタルオシロスコープで測定したBコイルによる電圧 v_b とHコイルによる電圧 v_h は計測用PCに取り込み、PC内で積分することによって、磁束密度波形 B と磁界強度波形 H を算出することが

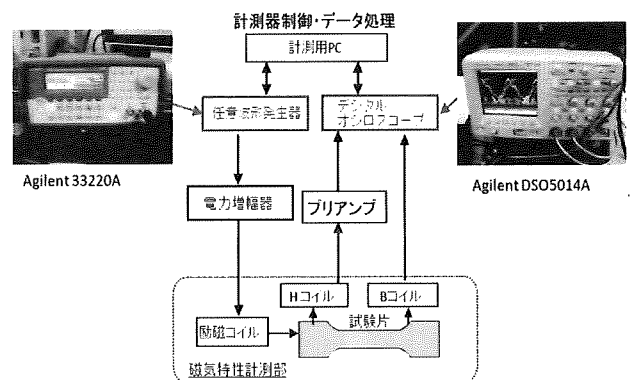


図1 磁気計測システムブロック図

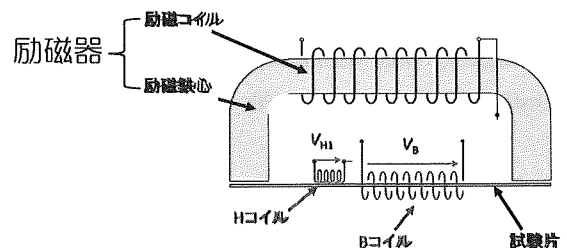
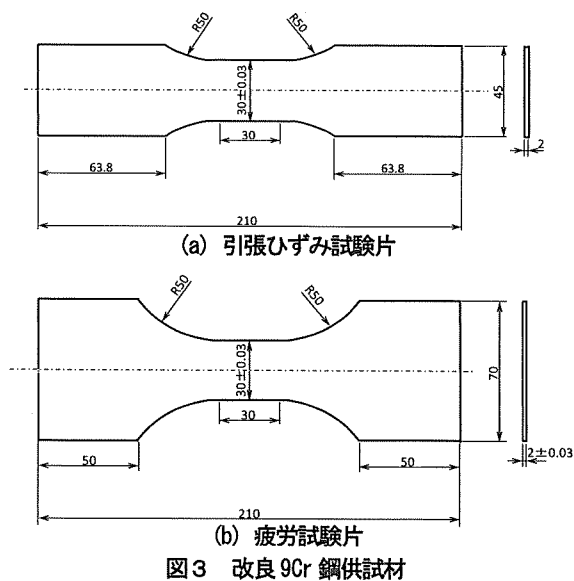


図2 励磁器、各種コイル及び試験片

出来る。両波形より、供試材のB-Hループを描くことができ、同ループから、透磁率、保磁力、残留磁化など材質変化によって変化する磁気特性を算出することが可能となる。図2に試験片と励磁鉄心、励磁コイル、Bコイル及びHコイルの関係を示す。磁束が通る磁路は、励磁鉄心と試験片とでクローズループになっており、励磁コイルで発生した磁束は漏れることなく、Bコイルに鎖交し、この鎖交磁束より、試験片内部の磁束密度波形 B が算出できる。また、試験片内の磁界強度と試験片直上の

連絡先: 樋田雄二、〒870-1192 大分市旦野原70
0番地、大分大学工学部電気電子工学科
E-mail: tsuchida@oita-u.ac.jp



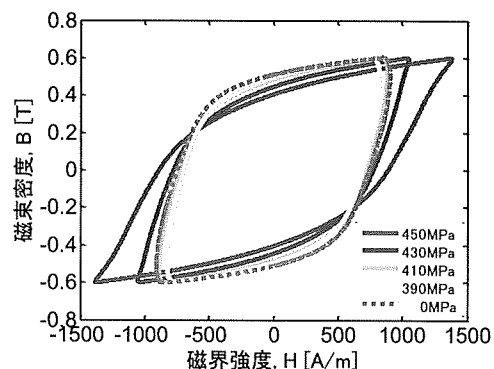
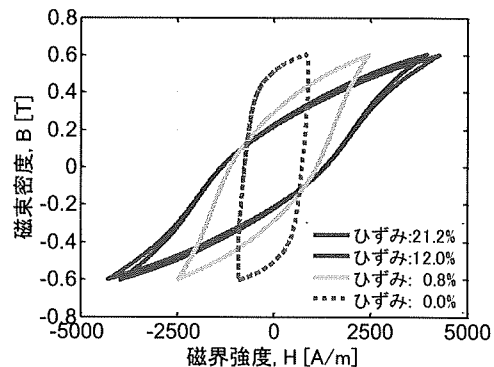
磁界強度の水平方向成分は連続性があることから、試験片直上に設置したHコイルにより、試験片内部の磁界強度波形Hを算出することが可能である

2.2 改良9Cr鋼供試材及び損傷条件

図3(a)と(b)に引張試験及び疲労試験に供試材として用いた改良9Cr鋼の形状をそれぞれ示す。両試験片ともセンサ走査が出来るよう、中央部に30mm×30mmの領域を確保した。引張試験において破断ひずみが32.0%であることを確認した後、破断ひずみの90%（ひずみ量：21.2%）、60%（ひずみ量：12.0%）、7%（ひずみ量：0.8%）にて引張試験を途中止めてひずみ損傷試験片とした。また、疲労試験については、S-N曲線にて疲労限が370MPaであることを確認した後、390MPa、 1.48×10^6 回、410MPa、 1.07×10^6 回、430MPa、 4.82×10^5 回、450MPa、 3.37×10^5 回、引張-引張繰返応力を付加して疲労損傷試験片とした。

3. 測定結果・考察

改良9Cr鋼母材とひずみ試験片の磁気特性を図4に示す。母材から、0.8%ひずみ材、12.0%ひずみ材、21.2%ひずみ材と徐々にB-Hループが傾いていくことが分かる。これはひずみにより、高クロム鋼の磁気特性が劣化したためである。磁性材料の磁気特性は弾性領域で改善され、塑性領域で劣化することが知られており^[1]、0.8%ひずみ材においても塑性領域が支配的であることが分かる。次に、改良9Cr鋼母材と疲労試験片の磁気特性を図5に示す。疲労試験片では母材のB-Hループから390MPa疲労試験



片では傾きが緩やかになり、その後、430MPa、450MPa疲労試験片で大きく傾く。疲労応力が大きい430MPa、450MPa疲労試験片の疲労損傷評価は可能であることが分かる。以上のようにB-Hループの変化を詳細に吟味し、センサ動作点を決め、非破壊劣化損傷評価システムの開発を行うことが可能である。

謝辞

本研究は、特別会計に関する法律（エネルギー対策特別会計）に基づく文部科学省からの受託事業として、福井大学が実施し、大分大学が再委託にて実施した平成22年度「もんじゅ」における高速増殖炉の実用化のための中核的研究開発」の成果を含みます。

参考文献

- [1] 岡茂八郎, 榎園正人, “回転磁束型磁気センサによる鋼板裏側欠陥の推定”, 日本応用磁気学会誌, Vo. 21, No. 4-2, 1997, pp.633-636.
- [2] 近角聰信, “強磁性体の物理 (下)”, 裳華房, 1978.

(平成23年9月26日)