

# 引張試験片磁化特性装置を用いた強磁性材の機械特性非破壊評価

NDE for Mechanical Properties of Ferromagnetic Steels using Magnetic Measurement Apparatus

岩手大学工学部	菊池 弘昭	Hiroaki KIKUCHI	Member
岩手大学工学部	千葉 一也	Kazuya CHIBA	Non-member
岩手大学工学部	荒 克之	Katsuyuki ARA	Member
岩手大学工学部	鎌田 康寛	Yasuhiro KAMADA	Member
岩手大学工学部	小林 悟	Satoru KOBAYASHI	Non-member
岩手大学工学部	高橋 正氣	Seiki TAKAHASHI	Member

This study developed an apparatus for the measurement of magnetic properties of tensile test specimen. Experimental results show that the difference shape of BH curves of the steels cold-rolled with different rolling reduction. The coercive force has good correlation with Ductile-brittle transition temperature and Vickers hardness of the specimen. This result indicates the possibility of nondestructive evaluation for the mechanical properties of tensile test pieces using magnetic methods.

**Keywords:** Nondestructive Evaluation, Coercive force, Mechanical properties

## 1. 緒言

高速道路、橋梁等の大型構造物における経年劣化は転位等の格子欠陥に起因する機械特性の劣化が主な要因である。構造物の経年劣化の非破壊検査には超音波探傷、渦電流探傷等の方法が用いられているが、これらの手法は微小亀裂を検出するものである。近年、建設後数十年が経過した構造物が増加しており、経年劣化に起因した事故を未然に防止する目的から、亀裂発生前に機械特性を評価する必要を生じている。構造物には鉄系強磁性材料が用いられており、その磁気特性は硬さ等の機械特性と良い相関をもつことが知られている。

また、原子力発電炉の压力容器(PRV)は、運転中に中性子の照射を受け、脆化など材質劣化を生じる。その評価は、シャルピー衝撃試験片などを定められた時期に取り出し、破壊試験により行われている。もし試験片を壊さずに劣化評価を行うことができれば、検査実施回数を増加でき、長寿命化への対応も可能になるものと思われる。

このような背景のもと、強磁性材の機械特性と磁気特性との良い相関を利用し、材料の内部組織や機械特性を磁気計測により非破壊で評価する研究が行われている[1,2]。この相関を利用した非破壊評価技術を実用化する上では、機械特性と磁気特性との相関に関するデータベースの構築が重要である。小型の引張試験片

の磁気計測を非破壊で行うことができれば、一つの試験片から機械特性、磁気特性の両方のデータが得られてデータベースを構築する上で効率的である。よって、ここでは、引張試験片の磁化特性を測定する装置を開発し、その装置を用いて測定した磁気特性と試料の機械特性を比較したので報告する。

## 2. 実験方法

### 2.1 引張試験片磁化特性装置

Fig. 1 は装置の概観を示したものである。装置はプローブ部、試料の搬入・搬出機構部から構成されている。プローブ部は、励磁コイルボビン、磁気ヨーク、BHコイルボビン及び測定試料である引張試験片から構成されている。上下の磁気ヨークを用いて試験片を挟み込むことにより閉磁路回路を形成する。励磁コイルは励磁コイルボビンの周囲に直径 0.2 mm の銅線を 2000 ターン巻いた。BH ボビンは磁界・磁束密度を計測するための H コイル・B コイルを備えている。H コイルは直径 0.025 mm の銅線を 1290 ターン巻き、面積は 2 mm<sup>2</sup> とした。B コイルは直径 0.08 mm の銅線を 200 ターン巻き、面積は 1 mm<sup>2</sup> である。

### 2.2 測定試料及び測定方法

測定試料には圧延率が異なる S15C 鋼を用いた。圧延率は 0, 5, 10, 20, 40 % である。引張試験片の寸法は 5

連絡先: 菊池弘昭, 〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5, 岩手大学工学部附属金属材料保全工学研究センター, 電話: 019-621-6890, e-mail: hkiku@iwate-u.ac.jp

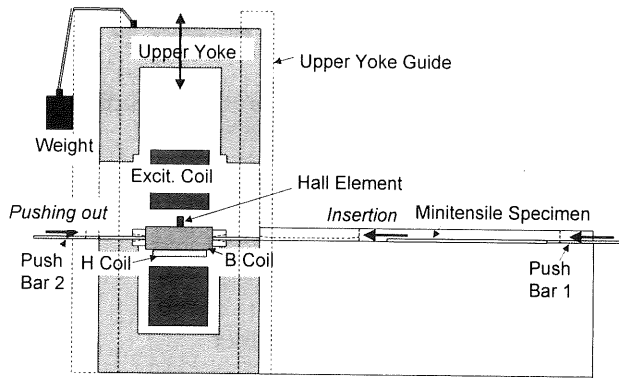


Fig. 1 Schematic view of the apparatus.

×0.5×24 mm で応力集中部の幅は 2 mm とした。引張試験片とは別に JIS4 号 5 mmV ノッチ試験片を用意して、シャルピー衝撃特性について評価し、その結果を基に延性-脆性遷移温度(DBTT)を算出した。延性-脆性遷移温度(DBTT)のほかにビッカース硬さも測定した。引張試験片については 2.1 で述べた装置に挿入し磁気特性を評価した。磁気計測時、励磁周波数は 1 Hz を用い、B、H-コイルの出力は積分して B、H の値を算出し、BH 曲線を求めた。

### 3. 実験結果

Fig. 2 は引張試験片の BH 曲線を圧延率 0 - 40 % の場合について示した図である。圧延率の増加に伴い、ループの膨らみは大きくなり、ループの傾きは小さくなるのがわかる。磁気特性の違いを捉えており、作製した装置による磁気特性評価が可能であることを示している。Fig. 3 は、保磁力に対する延性-脆性遷移温度(DBTT)及びビッカース硬さの変化を示したものである。保磁力は Fig. 2 の BH 曲線から求めた。延性-脆性遷移温度及びビッカース硬さと保磁力の間には良い相関が見られており、作製した引張試験片磁化特性装置を用いて引張試験片の延性-脆性遷移温度及びビッカース硬さを間接的に評価することが可能となった。

### 4. まとめ

引張試験片の磁気特性を測定するための装置を作製した。引張試験片磁化特性装置を用いて測定した磁気特性とシャルピー試験より求めた延性-脆性遷移温度及びビッカース硬さの間の相関を明らかにした。この相関関係を用いて、材料の機械特性を磁気計測により間接的に評価することが可能となった。

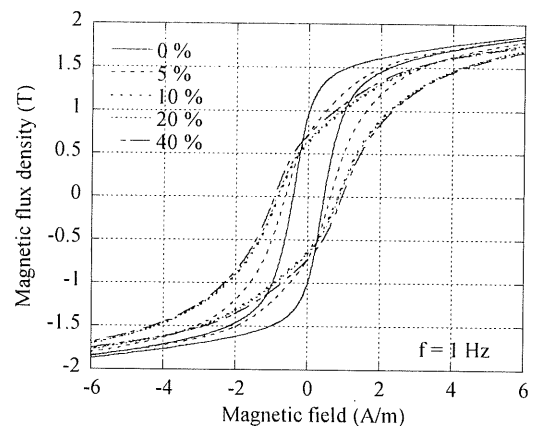


Fig. 2 BH curves of S15C steels.

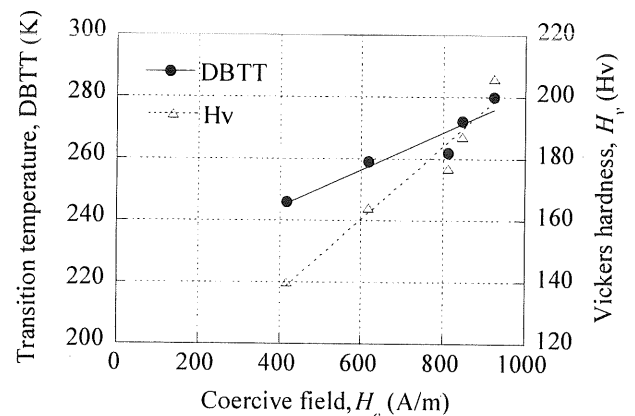


Fig. 3 The relation between DBTT, Vickers hardness and coercive field.

### 謝辞

本研究は独立行政法人原子力安全基盤機構からの委託研究(平成 16 年度原子力安全基盤調査研究(原子力安全基盤調査研究((原子炉圧力容器の脆性に対する磁性を用いた非破壊検査の基礎研究部)))の成果の一部である。

### 参考文献

- [1] H. Kronmüller: "Magnetic Techniques for the Study of Dislocations in Ferromagnetic Materials", *Int. J. Nondestruct. Testing*, Vol. 3, pp.315-350 (1972).
- [2] S. Takahashi, J. Echigoya, and Z. Motoki: "Magnetization curves of plastically deformed Fe metals and alloys", *J. Appl. Phys.*, Vol. 87, No. 2, pp. 805-812(2000).