

焼入れ分布を持つマルテンサイトステンレス鋼の 磁気特性・微細組織変化

Magnetic properties and microstructures change
in quenched martensitic stainless steel

岩手大学	菊池 弘昭	Hiroaki KIKUCHI	Member
岩手大学	菅井 康平	Kohei SUGAI	Non-Member
インフィテックエム (株)	松村 慶一	Keiichi MATSUMURA	Non-Member

Abstract

We investigated the magnetic properties, hardness and microstructure of the martensitic stainless steel with and without quench. The quench introduced to fine grain boundaries, which relates to an increment of coercivity and Vickers hardness, a decrease in Barkhausen signal. The magnetic property changes reflect the changes in microstructures and mechanical property appeared on the quenches specimen. The obtained results contribute to aim developing a magnetic nondestructive evaluation of residual stress appeared on the steel combined with and without quench.

Keywords: hysteresis curve, Barkhausen noise, nondestructive evaluation

1. 研究の背景

発電プラントなどのインフラ関連機器の寿命・劣化診断とそのセンシング技術の社会的ニーズは、発電機器の寿命延伸のニーズからますます高まっている。磁気バルクハウゼンノイズ(MBN)やヒステリシス曲線など磁気計測による材料劣化診断[1]-[4]は、短時間、非破壊での測定、供用期間中での測定への適用性が高い。火力発電プラント等で用いられているタービン部材によって、その寿命延伸を目的に焼入れが施されている。一方で、タービン部材を長期使用していく中で、残留応力に起因して寿命に至る場合が想定される。よって、残留応力の評価が重要である。一般的には、非破壊で計測できるX線回折により評価を行っている場合が多いが、試料の前処理が必要、計測に時間を要する、現場での計測が容易でない。X線回折に代替し得る短時間に簡便に残留応力評価を行う技術開発が望まれており、磁気計測がその候補になるものとする。そこで、本研究では、焼き入れを施したタービン部材の磁気特性・組織変化について検討を行った。実際の測定現場では応力以外に組織的な因子に起因する機械・磁気特性変化が生じるためそれらを把握することが本報告の目的となる。

2. 実験方法

2.1 測定試料

試料にはマルテンサイト系ステンレス SUS420 鋼を用いた。試料寸法は、70 mm×17 mm×8 mm であり、長さ方向において試料端部から 20 mm までの範囲にレーザー焼入れを施した。焼入れした範囲のビッカース硬度は 450-500 程度であり、母材部分は 290 程度になっている。

2.2 計測方法

ヒステリシス曲線の計測は純鉄もしくはケイ素鋼板の磁気ヨークに巻いた励磁コイルに 0.1 Hz の三角波電流を印加することで試料を励磁し、ヨークの足に設置したピックアップコイルで磁束変化を計測した。磁場 H は印加電流 I を用いて $H=nl/l$ (n : 励磁コイルの巻き数 l : 磁路長) から算出し、磁束密度はピックアップコイルの電圧を積分することで求めた。一方、MBN 計測の励磁は BH 計測と同様としたが、励磁の周波数は 1 Hz とした。励磁ヨークの間に試料に接するように設置したピックアップコイルにより MBN 信号を検出した。その際、信号は増幅した後、バンドパスフィルタ(BPF)を通して処理した。この MBN 信号の移動平均値を V_{ms} 値とした。また、出力の半周期における二乗平均平方根の値を RMS 電圧として評価した。計測では、焼き入れされている方の端部を位置 0 mm として、試料長手方向にヨークを移動させて磁気パラメータを計測し、位置に対する分布の変化を評価した。

3. 実験結果

図1は、純鉄の小型ヨークを用いて計測したヒステリシス曲線から保磁力を算出し、その値を測定位置に対してプロットした結果である。なお、試料の励磁方向は試料幅方向に対してである。焼入れ部においては、保磁力の値が大きく、焼き入れを施していない部分には、保磁力の値が低下している。EBSDによる組織観察を行った結果、焼き入れしていない領域と比較して、焼き入れ部は結晶粒が微細化されていることが確認された。焼入れ部の方がピッカース硬度は大きく、保磁力が増加している要因も結晶粒の微細化が支配的であると考えられる。また、試料長手方向に磁界を印加して保磁力の評価を行ったが、先に示した結果と同様の結果であった。

図2は、バルクハウゼンノイズ計測を行い、RMS電圧を位置に対して示した結果である。励磁は試料長手方向に行った。焼入れ部ではRMS電圧は低く、母材で高い結果となっている。保磁力の結果で述べたように、組織観察の結果によると粒が微細化している。バルクハウゼンノイズは磁壁の不連続運動に基づく信号であり、不連続の基になるのは、ピンニングサイトの存在である。そのピンサイトの数とピンからはずれて磁壁が移動するときの移動量とで信号が決まる。今回の場合、結晶粒界が磁壁のピンニングサイトとなるが、粒が微細化されたことによってピンニングサイトは増えるので、バルクハウゼンノイズの事象は増えるが、移動量が減少し、結果、焼き入れ部ではバルクハウゼンノイズが減少したものと考えられる。

4. まとめ

焼入れに伴う結晶粒の微細化によって、保磁力の増加やRMS電圧の低下が確認された。また、機械特性としての硬度は大きくなり、硬度と磁気特性との間に相関関係が確認された。焼入れ部と母材との遷移領域における磁気特性も硬度の変化を反映しているものと期待される。今後は、微細組織が異なる状況が混在した場合において、さらに応力が印加された場合の磁気特性変化について評価する予定である。

参考文献

[1] C. G. Stefanita, D. L. Atherton and L. Clapham, "Plastic versus Elastic Deformation Effects on Magnetic

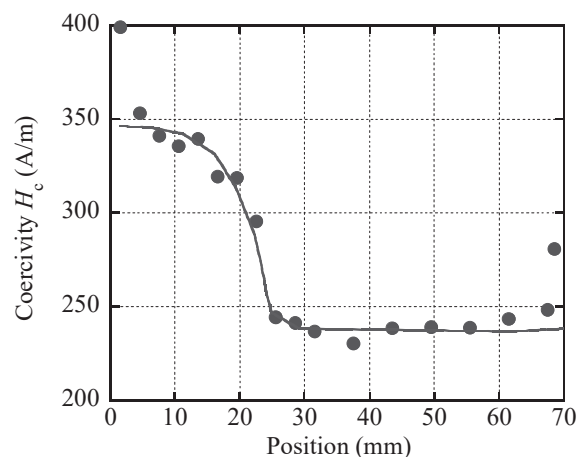


図1 保磁力の位置分布

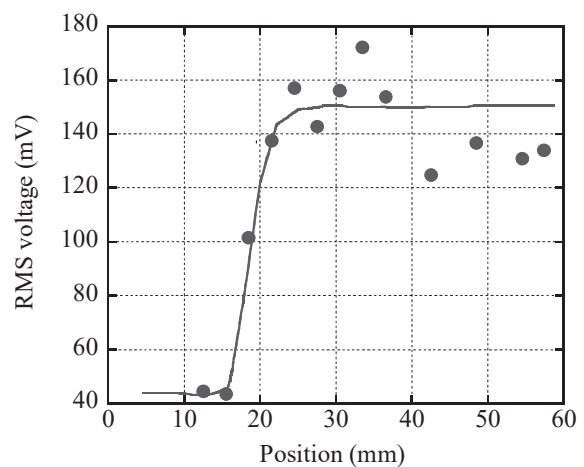


図2 RMS電圧の位置分布

Barkhausen Noise in Steel", *Acta mater.*, Vol. 48, 2000, pp. 3545–3551.

- [2] X. Kleber, A. Vincent, On the role of residual internal stresses and dislocations on Barkhausen noise in plastically deformed steel, *NDT & E Int.*, Vol. 37, 2004, pp. 439–445.
- [3] J. Anglada-Rivera, L. R. Padovese, and J. Capó-Sánchez, Magnetic Barkhausen noise and hysteresis loop in commercial carbon steel: Influence of applied tensile stress and grain size, *J. Magn. Magn. Mater.*, Vol. 231, 2001, pp. 299–306.
- [4] A. Martínez-de-Guerenu, K. Gurruchaga, and F. Arizti, Nondestructive characterization of recovery and recrystallization in cold rolled low carbon steel by magnetic hysteresis loops, *J. Magn. Magn. Mater.*, Vol. 316, 2007, pp. e842–e845.