

討23

電磁気応用計測装置

新日鉄 広畑製鉄所

福島賢也

1. 緒言

鉄鋼における電磁気応用計測は、製品の品質保証及び操業技術の改善を目標として、開発が進められ、現場への適用が行われている。これらの装置は、電磁気特性を示す指標である、鉄損(W_h)、透磁率(μ)、残留磁気(B_r)、保磁力(H_c)、漏洩磁束(Φ_e)、 μ と鋼の材質および品質との相関を実験的に求め、計測装置化したものである。電磁気応用計測による品質把握は、非破壊かつ連続的に測定が可能であるため、オンラインにおける全数検査が可能となり、より高い信頼性のもとで品質保証ができると同時に、迅速な品質把握ができるため操業管理上きわめて有利である。以下当社にて開発を進め、生産ラインに設置して品質保証、技術の進歩に大きく貢献している連続鉄損測定装置と、連続磁気硬度計について紹介する。

2. 連続鉄損測定装置

電磁鋼板の特性試験は、JISに定められている様に、エプスタイン試験機によりおこなわれる。この方法では鋼帯の一部から試料を採るため、全長にわたる磁気特性を把握することはできない。又、エプスタイン試験は試料の作成に手数と時間とが必要であり、異常時の対応が遅れる事は避けられない。このため鋼帯全長にわたって非破壊で迅速かつ連続的に磁気特性を測定する装置として、連続鉄損測定装置を開発した。

2.1 装置の概要

装置の測定原理をFig.1に示す。連続鉄損測定装置は、測定コイル、磁束密度制御部、電力計部、演算記録部、厚み計、有効磁路長補正部、から構成されている。

励磁用の一次巻線と磁束密度検出用の二次巻線とを持つ測定コイルと、有効磁路長補正用のコイルの中を鋼帯が連続的に通過する。この時の一次電流 I と二次誘起電圧 E_s とから、鋼帯中で消費される電力を測定する。一方、鋼種の違いから生じる有効磁路長の変動を自動的に補正するために、鋼帯中の磁束分布をモデル化し、有効磁路長検出コイルから有効磁路長補正係数を作り出す。

電力計で測定された電力値と磁路長の補正係数とから鉄損値を計算する。また、鋼帯の厚さを β 線厚さ計で測定し、基準厚みからの偏差信号で励磁電源を調整し、鋼帯中の磁束密度が一定となる様にしている。最終的な信号は、単位重量当りの鉄損値として記録、表示される。

2.2 鉄損測定上の問題点

連続鉄損測定装置の測定精度に大きな影響を及ぼす要因は次の3点と考えられる。

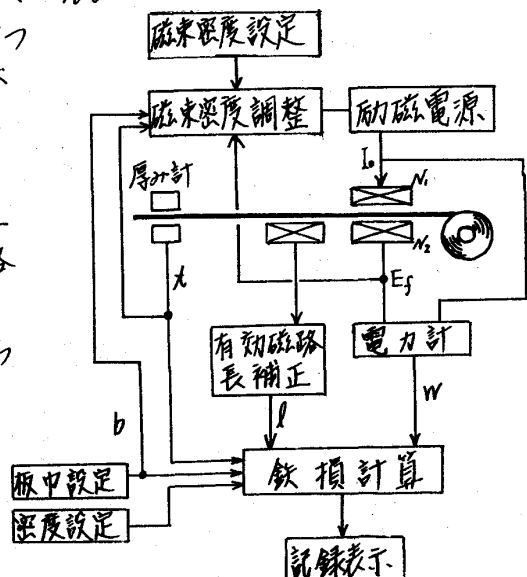


Fig.1 連続鉄損測定装置の測定原理

- ・測定鋼帯内の磁束分布
- ・鋼帯に加わるライン張力変動
- ・磁束密度の変動

(1) 測定鋼帯内の磁束分布

第2図、第3図に被測定鋼帯の中方向磁束密度分布、及び長さ方向磁束密度分布を示す。

理想的には、磁束密度分布は一様でなければならぬが、鋼帯の中、長さ方向ともに、コイル中央から遠ざかるに従って、磁束密度が低くなっている。中方向では、端部での低下が大きい。長さ方向では、二次コイルが巻かれている中央100cmの部分では、ほぼ一定と考える事ができる。

(2) 鋼帯に加わるライン張力変動

第4図にライン張力(負荷電流)の変化による鉄損測定値の変化を示す。ライン張力は通常の運転では、電流変動で±2A以内であるが、鉄損値の変動は±2%程度であると考えられる。

(3) 磁束密度の変動

磁束密度Bは以下式で与えられる。

$$B = \frac{E_f}{4.44 f \cdot N_2 \cdot b \cdot \tau} \quad \text{----- (1)}$$

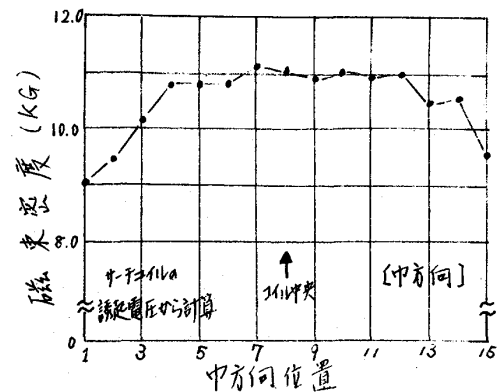
ここで、 E_f ；二次誘起電圧、 f ；周波数、 N_2 ；二次コイル巻数
 b ；板中、 τ ；板厚

(1)式から、鋼帯の磁束密度を一定とするためには、板中は一定であるため板厚変動に応じて励磁電圧を変化させる必要がある。この為に自動電圧調整装置を付加しており、その制御精度は約±0.6%程度であり、実用上問題ないと考えている。

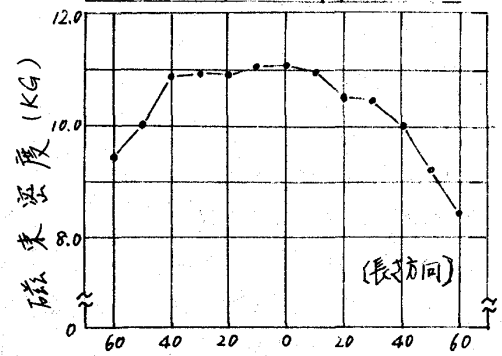
2.3 鉄損測定精度

(1) エアスタイン試験との比較

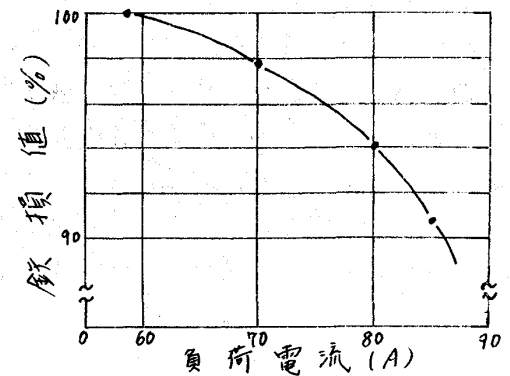
第5図にエアスタイン試験法と本装置による測定結果との相関を示す。JISによる25cmエアスタイン試験法は磁気回路が閉回路にあり、有効磁路長が厳密に規定されている。本装置では鋼帯の特性によって有効磁路長が変化するのを補正係数で補正し、さらにライン条件によって鋼帯の長さ方向のテンションが常に変動している。これらの要因は本測定装置の測定結果に誤差を与える要因となっているにもかかわらず、非常に良い相関が得られている。



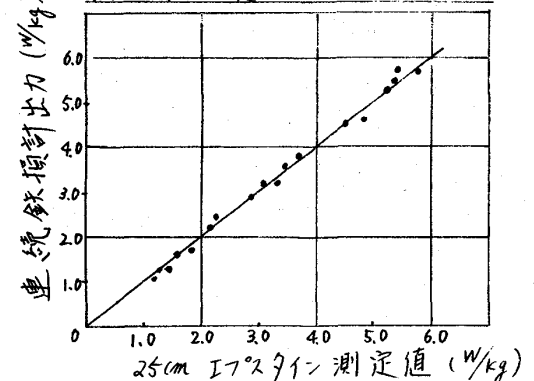
第2図 鋼板内磁束密度分布



第4図 鋼板内磁束分布



第4図 張力変化による鉄損変化



第5図 連続鉄損測定装置の精度

3 連続磁気硬度計

ブリキ材などの薄鋼板の硬度は、ロックウェル硬度計等を用いて日常的に管理されているが、振取りによる破壊検査ではコイル内のばらつきなどについてその硬度を保証する事はできない。連続焼鈍炉等ではライン条件の変化により、長さ方向に鋼帯の硬度がばらつく場合があり、迅速処置が必要である。これらの必要性を満たす為、機械的硬度が磁気特性と相関がある事を利用して、連続磁気硬度計を開発し、ラインに適用した。

3.1 装置の概要

オ6図に連続焼鈍炉出側に設置した連続硬度計の構成を示す。被測定鋼帯が検出コイルの中を通過すると、コイル中の平均透磁率が変化し、二次誘起電圧 V_2 が変化する。この二次誘起電圧が一定値となるように、一次側コイルに供給する電流を制御する。二次誘起電圧 V_2 を一定値とする一次電流値と機械硬度との相関をとり、その値を磁気硬度として記録表示する。

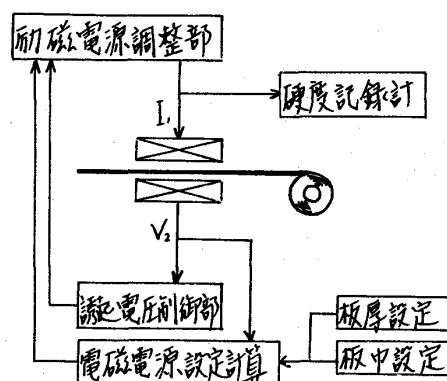
3.2 測定結果

オ7図は機械的硬度と磁気硬度との関係を示している。機械的硬度と磁気硬度との関係は鋼種によりオ7図に示す様に相関直線が異なり、同一の校正直線を用いることはできない。これは磁気特性が鋼材の硬度のみでなく、成分、結晶粒、組織、不純物存在物および残留応力などによって変化するという事実から、避け得ないことと考えられる。

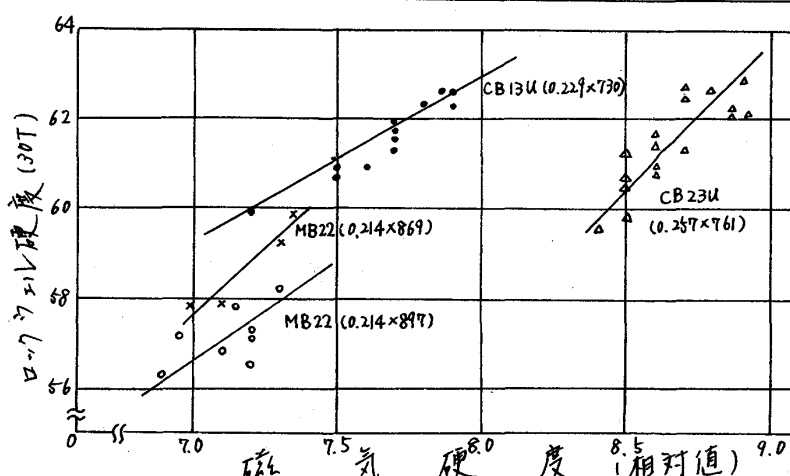
オ8図は一本の鋼帯(コイル)を試料として、焼鈍条件を変化させることにより、硬度を意識的に変化させて機械的硬度と磁気硬度との相関を調査した結果である。同一コイル内では成分、非金属存在物および残留応力などのばらつきが少なく、その結果、磁気特性と機械的硬度とが強い相関を示すものと考えられる。硬度測定精度は2の ± 1.5 HR30T以内であると考える。

3.3 現場への応用

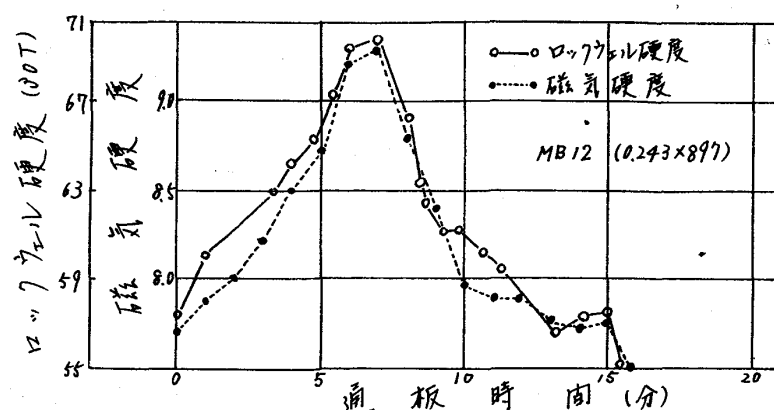
連続磁気硬度計は鋼種によって回帰直線の傾斜が変わるため、現場に適用する場合には鋼種による



オ6図 連続磁気硬度計の構成



オ7図 機械的硬度と磁気硬度との関係



オ8図 機械的硬度と磁気硬度との関係

傾斜を求めておく必要がある。しかし同一コイル内での機械的硬度と磁気特性とは強い相関があることを利用して、コイルの先端部分でサンプルを採り、機械的硬度を測定して硬度の絶対値を補正し、連続硬度計を用いてコイル内の硬度分布を測定するというシステムにより、品質管理を行っている。

4 おわりに

以上、電磁気応用計測の例として、連続鉄損測定装置と連続磁気硬度計について紹介したが、一般的に言って、鋼の電磁氣的性質は、成分、結晶粒度、析出物、集合組織、残留応力などの各要因が相互に関連し合い、決定されているものであるため計測値の変動が大きく、現場に適用する場合には注意が必要である。すなわち、鋼の品質を電磁氣的方法によって評価するのはあくまでも間接的な評価に過ぎず、また外乱要素も多いため、その品質の推定は多分に定性的要素を含まざるを得ない。したがって、計測結果から品質管理を行うためには、精度管理の充実にあおよび安全率を見込んだ判断基準を作成しておく必要があると考えている。