

オンライン鉄損測定装置の高精度化

Improvement of On-line Iron Loss Measuring System

住友金属工業(株)和歌山製鉄所 矢追 臣知*・石原 道章
 寺園 勝憲・永井 秋男
 三田 伸介

1. 緒 言

電磁鋼板の品質管理上、重要な指標の一つである鉄損は、客先の高級化ニーズに伴い管理範囲が狭くなり、従来の自社開発製オンライン鉄損測定装置¹⁾では測定精度面において品質管理が困難となりつつあった。今回、従来装置の測定誤差要因を定量化し、測定誤差に及ぼす影響が著しい要因の改善を行った。その結果、測定精度を±3.9%から±1.6%へ向上させることができた²⁾のでその概要を報告する。

2. 装置構成

鉄損は鋼を交流磁化したときに鋼内で損失する電気エネルギーであり、単位質量当たりの損失エネルギー(W/kg)で表示する。JIS³⁾では電磁鋼板試験方法としてFig.1に示すエプスタイン試験法が定められており、電磁鋼板の出荷試験として適用されている。この装置は鋼板磁束密度が所定の磁束密度となるように鋼板を磁化し、励磁(1次)コイルに流れる電流と検出(2次)コイルに生じる電圧との電力を測定することで鉄損を得る。

本オンライン鉄損測定装置はエプスタイン試験をオンライン化したWatt-meter法を採用し、その構成と改善点をFig.2に示す。

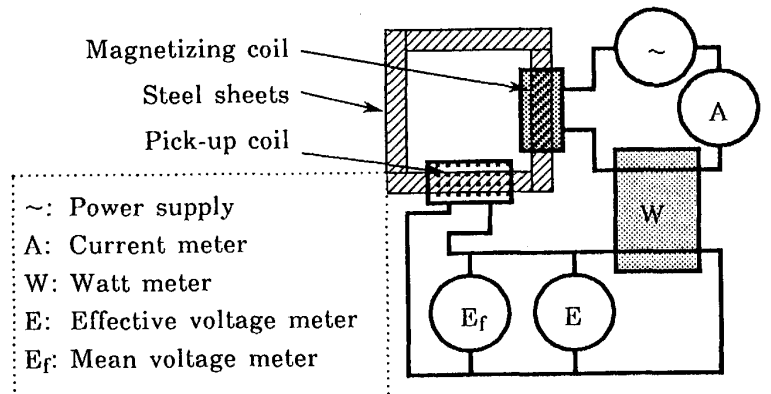


Fig.1 Block diagram of Epstein test

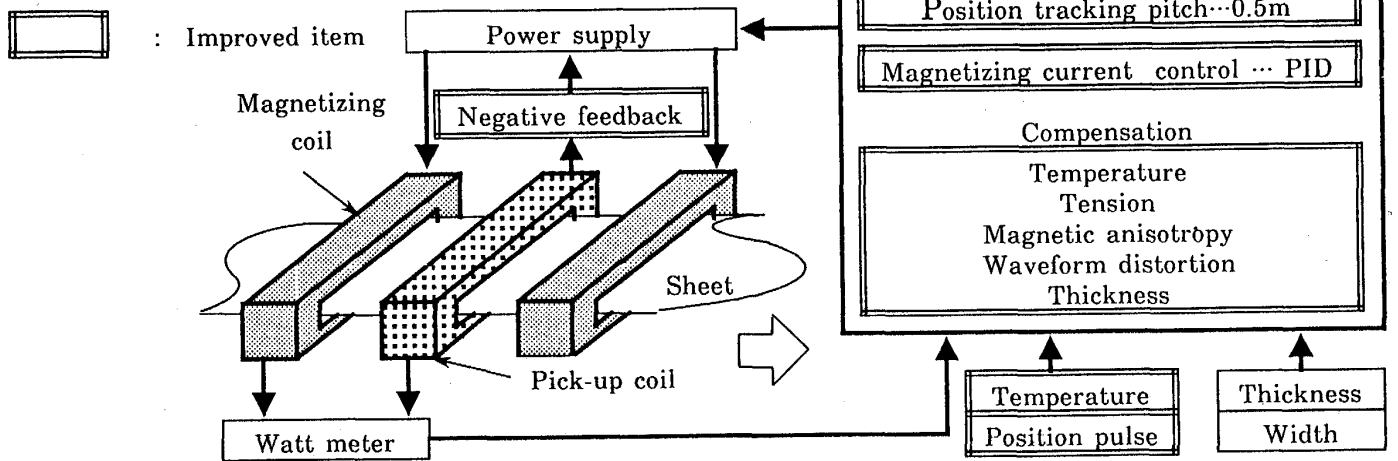


Fig.2 Block diagram of on-line iron loss measuring system (Watt-meter method)

平成 4年 5月21日受付 (Received on May 21, 1992)

* Shigenori Yaoi (Wakayama Steel Works, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 1850 Minato Wakayama 640)

3. 誤差要因の検討

誤差要因を発生要因別に整理し、そのうち対策を施した概要についてTable1に示す。

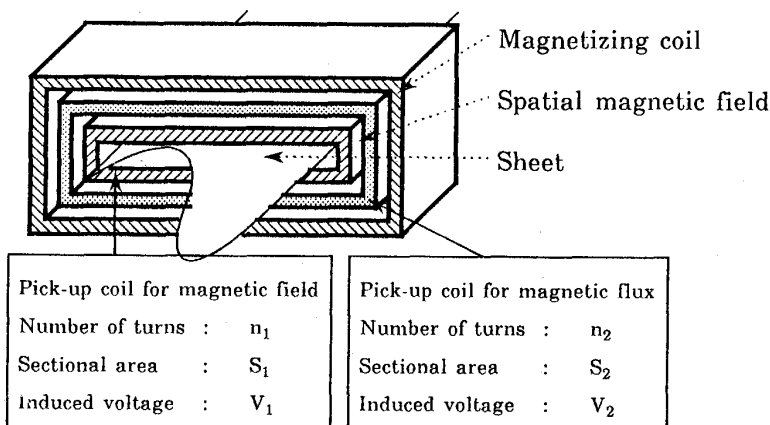
Table1. Error factors on iron loss measurement

Item	Factor	Analysis	Discription
Principle	Spatial magnetic field	Comparison between H-coil method and Watt-meter method	*
	Magnetic flux density	Distribution of magnetic flux density in steel sheet	
	Waveform distortion	Effect of reducing waveform distortion	*
System	Magnetizing current control	Relation between magnetizing current and power loss	*
		Effect of improving system responce	*
	Position tracking	Effect of accordance between measuring position and sampling position	
	Environment variation	Dependence of iron loss on environment variation such as temperature, cable length and so forth.	
Steel sheet	Sheet temperature	Dependence of iron loss on sheet temperature	
	Sheet tension	Dependence of iron loss on sheet tension	
	Magnetic anisotropy	Correlation between longitudinal direction iron loss and cross direction iron loss	
	Thickness	Influence of sheet thickness variation	

4. 空隙磁場の影響

W_{15/50}=4W/kg前後のグレードサンプル50A600⁴⁾をFig.3に示すHコイル法で測定するとFig.4に示す如く検量線よりも高く指示する。

50A600は飽和磁束密度が低いため、W_{15/50}で磁化するのにその前後のグレードに比べ、非常に大きな磁化電流を必要とする。したがって、空隙磁場が大きくなり、Hコイル法では実際の鉄損よりも過大に評価してしまう。一方、Watt-meter法では励磁電流と検出電圧の位相差情報が含まれるため空隙磁場の影響は無視できる。



In case of $n_1 = n_2, S_1 \neq S_2,$

$$|V_2 - V_1| = n_1 \frac{d(\mu_0 H)}{dt} (S_2 - S_1),$$

where

μ_0 : Permeability of vacuum,
 H : Magnetic field strength.

Fig.3 H-coil method

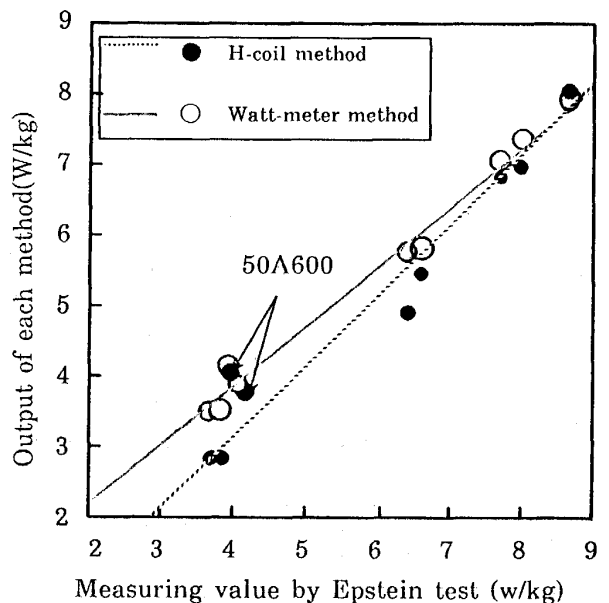


Fig.4 Comparison between H-coil method and Watt-meter method (W_{15/50})

5. 検出電圧波形歪み

鉄損測定においては鋼板内磁束変化が正弦波になるような状態で磁化する必要がある。

波形歪みを評価するパラメータとして実効値電圧Eと平均値電圧E_fの比(E/E_f)があり、鉄損測定誤差率との関係をFig.5に示す。Fig.6のような負帰還回路を励磁装置に装着し、波形歪みを適正に制御した結果、Fig.5に示す如く波形歪みが減少し、さらに波形歪み補正を行うことにより鉄損測定誤差を0.4%減少させた。

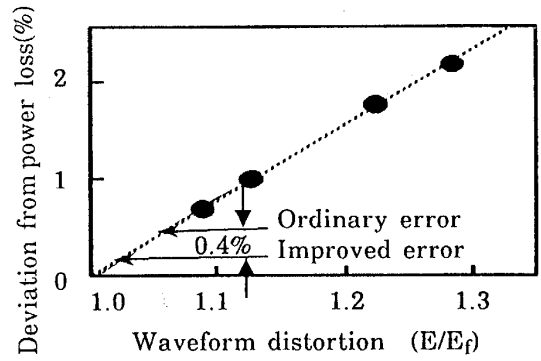


Fig.5 Relation between waveform distortion and power loss error

6. 励磁電流制御

励磁電流は検出電圧Eを(1)式で表される値になるように制御されているが、従来はP制御で目標制御範囲を目標検出電圧の±3%にしていた。

$$E = 2^{1/2} \cdot \pi \cdot n \cdot f \cdot t \cdot w \cdot B \quad (1)$$

ただし、 E : 実効値電圧(V) t : 鋼板厚み(m)
 n : コイルターン数 w : 鋼板幅(m)
 f : 励磁周波数(Hz) B : 磁束密度(T)

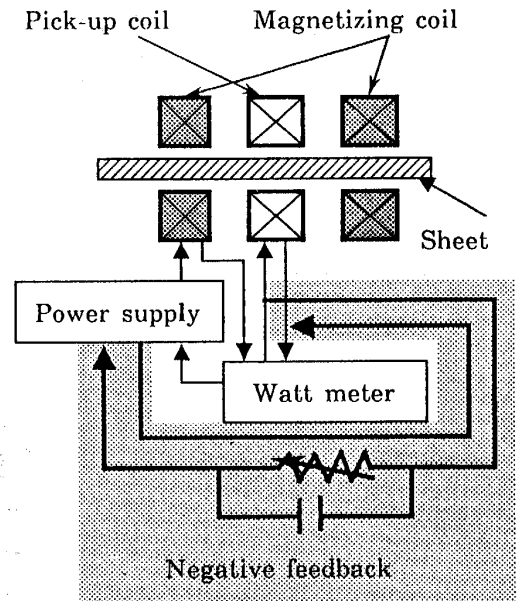


Fig.6 Negative feedback method

6.1 励磁電流制御精度

検出電圧を目標値±3%に制御した場合の誤差を評価するため励磁電流を変化させたときの電力損失Pの変化を調査した。Fig.7に示す如く検出電圧が±3%変化すると電力損失は±2%の変化となる。本装置では励磁電流分解能を10倍向上させた。

6.2 コイル全長にわたる測定精度の保証

PID制御に改造した結果、Fig.8に示す如く検出電圧目標精度を±0.3%で応答時間をP制御の2/5に速められ、鉄損測定精度を1.8%向上させることができた。したがって、コイル変わり目でも連続的に測定精度を保証可能となった。

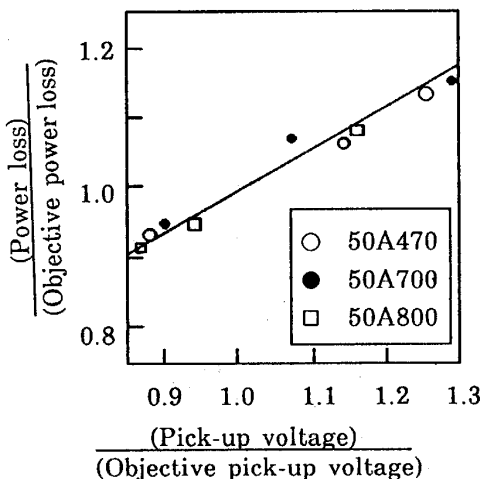


Fig.7 Power loss error by variance of pick-up voltage

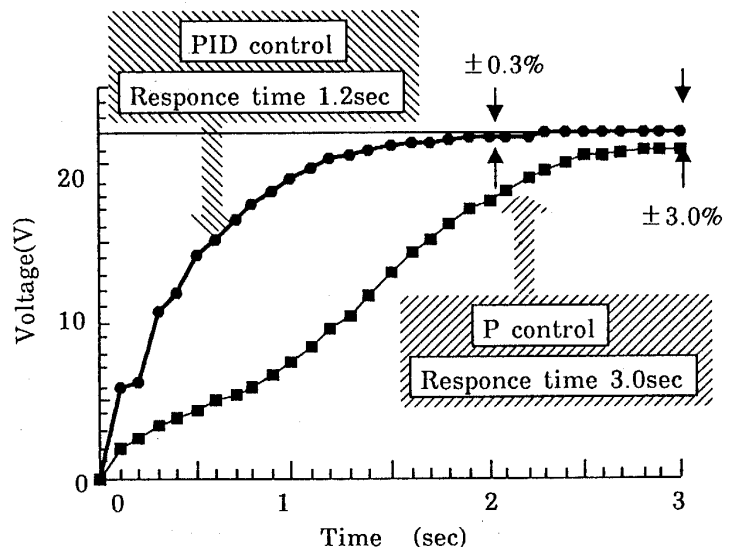


Fig.8 Response of pick-up voltage (In case of objective voltage 22V)

7. 結 果

7.1 精度検証

前述の改造によるオンラインでの測定精度の向上について検証した。鉄損 W_{mea} は(2)式で示される⁵⁾ので鉄損誤差の比 $\Delta W_{mea} / W_{mea}$ は(3)式で示される。(3)式を定量化したものをTable2に示す。

$$W_{mea} = \frac{P}{h + e \cdot (E/E_f)^2} \cdot \frac{1}{\rho \cdot l_{en} \cdot w \cdot t} \cdot T_{en} \cdot W_{LC} \quad \text{ここで } P = \frac{I \cdot E \cdot (1 - \alpha \cdot T) \cdot \cos\theta}{h \cdot (t/(t + \Delta t))^2 + e} \quad (2)$$

$$(\Delta W_{mea} / W_{mea})^2 \approx (\Delta E / E)^2 + (\Delta I / I)^2 + (0.3 \Delta t / t + \Delta w / w)^2 + (\alpha \cdot \Delta T / T)^2 + (\Delta T_{en} / T_{en})^2 + (\Delta W_{LC} / W_{LC})^2 \quad (3)$$

ただし、

W_{mea} :	鉄損(W/kg)	ρ :	鋼板密度(kg/m ³)	T :	鋼板温度(°C)
P :	電力(W)	l_{en} :	実効磁路長(m)	α :	鋼板温度係数
h :	ヒステリシス損比	w :	鋼板幅(m)	W_{LC} :	鋼板L/C比補正
e :	うず電流損比	θ :	IとEの位相差	T_{en} :	鋼板張力補正
E :	実効値電圧(V)	t :	鋼板厚み(m)	Δ :	各測定値の誤差
E_f :	平均値電圧(V)	I :	励磁コイルの電流(A)		

Table2. Measured error evaluation

Term of (3) eq.	Object	Improvement	Error (±%)	
			Ordinary	Improved
$\Delta E / E$	Pick up voltage	Reducing waveform distortion	0.6	0.2
		Fixing controller temperature and regulating power supply	1.0	0.3
		Adjusting measuring position	0.9	0.3
$\Delta I / I$	Magnetizing current	Error ±3.0→0.3%	2.0	0.2
$\Delta t / t$	Sheet thickness	Position control and compensation	2.1	0.3
$\Delta w / w$	Sheet width	Position control and compensation	0.3	0.2
$\Delta T / T$	Sheet temperature	Compensation with each grade	0.2	0.0
$\Delta T_{en} / T_{en}$	Sheet tension	Compensation with each grade	0.1	0.0
$\Delta W_{L+C} / W_{L+C}$	Magnetic anisotropy	Compensation with each grade	2.1	1.2
$\Delta W_{mea} / W_{mea}$	Total error		3.9	1.4

7.2 オンラインテスト結果

Fig.9にオンラインテスト結果をエプスタイン試験値との誤差比較により示す。測定精度を対エプスタイン試験値±1.6%にすることができた。この結果はTable2の算出値とほぼ一致し、誤差の定量化が適正であったことを示す。

8. 結 言

オンライン鉄損測定装置の改善後の測定精度をほぼ見積り通りに±3.9%から±1.6%にすることができた。

<参考文献>

- 1) 石原ら:材料とプロセス '87-S1077
- 2) 矢追ら:材料とプロセス vol.4(1991)-319
- 3) JIS C2550
- 4) JIS C2552
- 5) 電気学会:磁性材料専門委員会:技術報告1部第88号(1969)

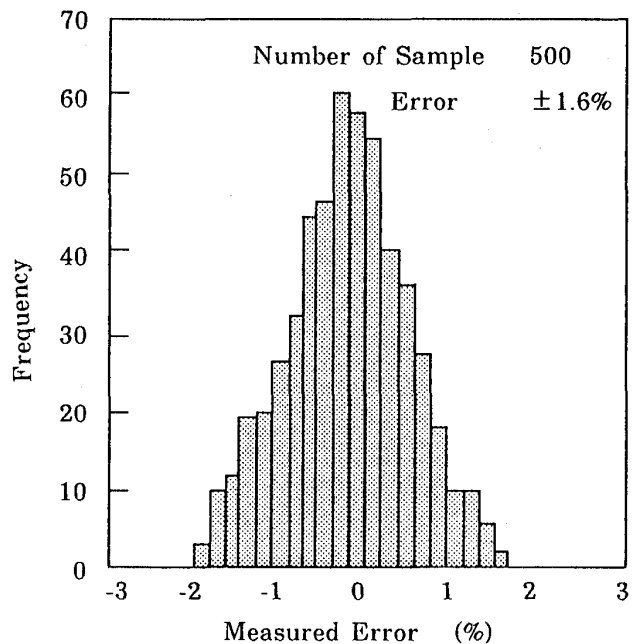


Fig.9 Distribution of measured error