

強磁性伝熱管のパルス渦電流試験における探傷信号の SN 比

日大生産工 (院) ○藤井 雄太 日大生産工 小井戸 純司
日大生産工 (研究員) 日比野 俊

1. はじめに

火力発電所や各種プラント等において 1~2 年周期で熱交換器の保守検査が行われている。伝熱管の約 70% 以上は強磁性体の鋼管が用いられているが、これに対して内挿コイルを用いた渦電流探傷試験を適用すると、強磁性材料特有の磁気ノイズによって SN 比が低下するため探傷が困難である。そこで、瞬間的に強い電流を流すことができるパルス渦電流試験を用いることによって、鋼管を強く磁化することにより磁気ノイズが低減し、鋼管を探傷することが可能となる。しかし、現状では磁気ノイズを完全には抑制できていないため、パルス励磁電流の大きさや幅を調整して磁気ノイズの低減に適した条件を検討する必要がある¹⁾。そこで、本研究ではパルス励磁電流のパルス幅と振幅がきず信号の SN 比に与える影響を検討した。

通常の渦電流探傷試験では、励磁コイルに供給される励磁電流は単一周波数の正弦波である。これに対し、パルス渦電流探傷試験では、パルス電流発生装置から供給されるパルス状の短い電流により、パルス状の磁束が発生し、その磁束によって試験体は磁化され、また同時に渦電流が誘導される。試験体に生じる渦電流は、試験体のきずの存在によってその分布が変化し、検出コイルの起電力が変化する。それに対し同調増幅によって特定の周波数成分を取り出し、同期検波などの信号処理を施し、探傷信号として出力する。

(2) 信号処理回路

試験コイルを走査して、コイルがきずを通過したときにブリッジバランスが崩れ、きず信号が出力される。そのきず信号は歪み波なので、低次から高次まで多くの高調波を持っているが、この高調波成分の中で、きずの検出に適した周波数成分が存在すると考えられる。そこで、同調増幅器を用いて特定の成分を取り出し、

2. パルス渦電流試験の原理

(1) パルス渦電流試験

Fig. 1 にパルス渦電流試験のシステムを示す。

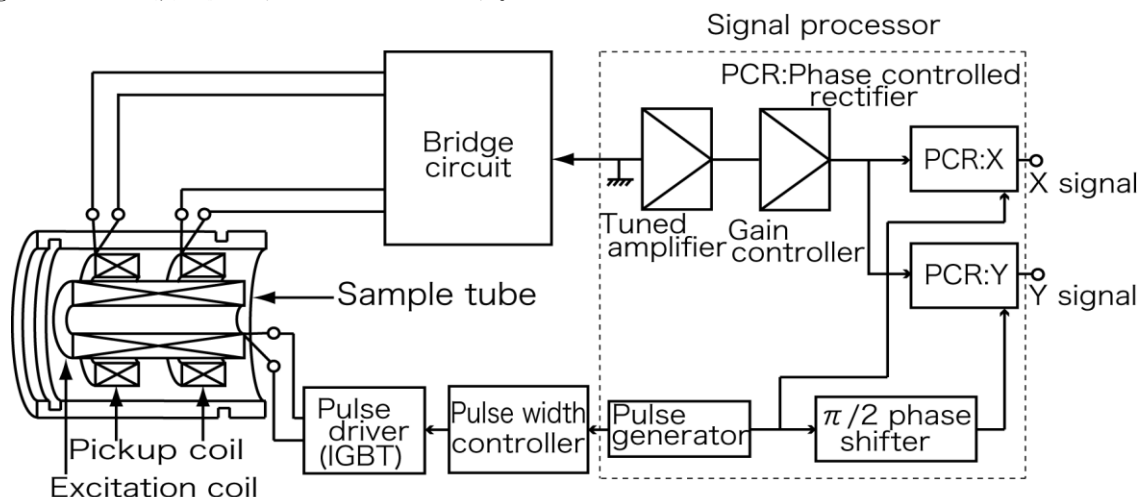


Fig.1 Diagram of pulsed ECT system

Ferromagnetic Heat Exchanger Tubes of Pulsed ECT to SN ratio
Yuta FUJII, Junji KOIDO and Takasi HIBINO

さらに同期検波回路によって、複素電圧の実数部と虚数部に分解したものを信号として出力する。

(3) SN 比の評価

きず信号の大きさは、信号の正負の peak to peak 値 S_{pp} を採用した。ノイズは、磁気ノイズの平均的なパワーを評価するため、交流的なノイズ波形の実効値として式(1)を用いる。

$$Noise = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \dots\dots\dots(1)$$

ここで N はデータの個数であり、 $\bar{x}$ は x_i の平均値である。なお、ノイズとしてはきずとぎずの間の雑音を用いることにし、外面きず 70% から 60% のきず信号の間の雑音を採用した。以上より SN 比は、きず信号の大きさとノイズの比とする。すなわち、

$$SN \text{ 比} = \frac{S_{pp}}{Noise} \dots\dots\dots(2)$$

である。

3. 実験方法

(1) 試験体

Fig. 2 に試験体を示す。試験体には、外径 19[mm]、肉厚 2[mm] の STB340 の鋼管に全周減肉の人工きずを加工したものを用いた。きずは減肉率 10% の内面きず、減肉率 10% から 70% までの外面きず、直径 2[mm] の貫通ドリル孔など合計 9 個を加工してある。なお、全周減肉きずの幅は、内外面ともに 1.5[mm] である。

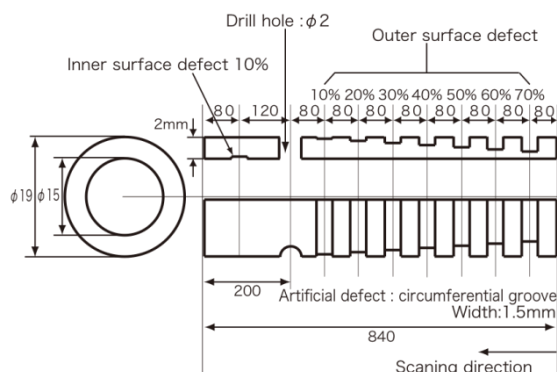


Fig.2 Test specimen (STB340)

(2) 試験コイルおよび実験方法

Fig. 3 に試験コイルの構造を示す。パルス渦電流探傷試験の試験コイルには相互誘導形差動方式の内挿コイルを採用した。試験コイルは、鋼管の中に導入してから一定の速度で引き抜き、その際に発生するきず信号をデジタルオシロスコープで記録する。なお、試験条件はパルス間隔 1[ms]、同調周波数 8[kHz]、探傷器の感度 38[dB] とし、パルス幅 300[μs] あるいは 400[μs] で励磁電流の振幅を 3~15[A] まで変えた場合と、励磁電流を 10[A] 一定としてパルス幅を 50~800[μs] まで変えた場合について実験した。ノイズはきずとぎずの間の雑音の交流成分を抽出し、前述した方法により、きず信号の SN 比を求めた。

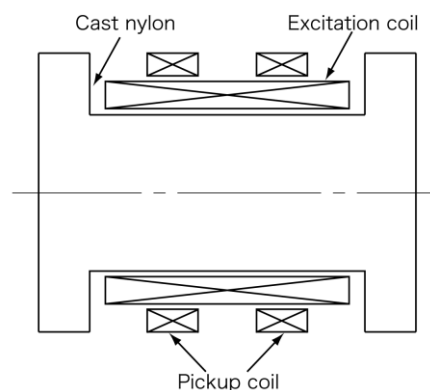
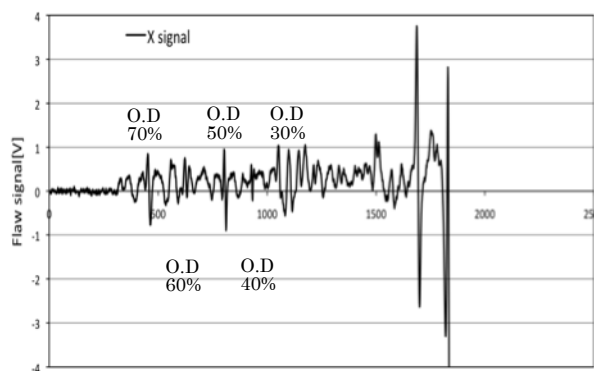


Fig.3 Mutual-induction type coil arrangement

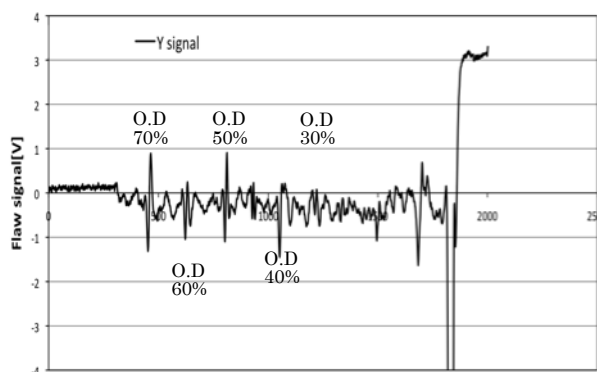
4. 実験結果

(1) パルス渦電流試験による探傷波形

Fig. 4、5、6 に探傷波形を示す。Fig. 4 はパルス幅 100[μs]、励磁電流 10[A] の場合である。同図を見ると、減肉率 70% から 30% の外面きずを検出しているが、磁気ノイズがあまり低減できていない。次に、Fig. 5 はパルス幅 300[μs]、励磁電流 10[A] の場合である。Fig. 4 と同様に減肉率 70% から 30% の外面きずを検出し、磁気ノイズが低減されている。また、Fig. 6 はパルス幅 500[μs]、励磁電流 10[A] の場合である。同図を見てみると、磁気ノイズは低減されているが、きず信号も小さくなっている。このことから、パルス幅が広いと磁気ノイズを低減することができるが、パルス幅がさらに広いと磁気ノイズだけでなく、きず信号まで小さくなってしまうことが分かった。

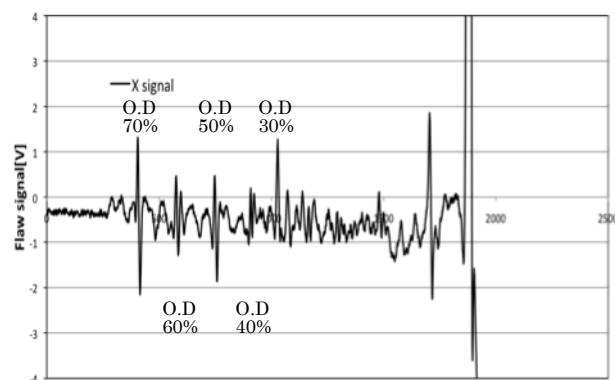


(a)Real component of signal

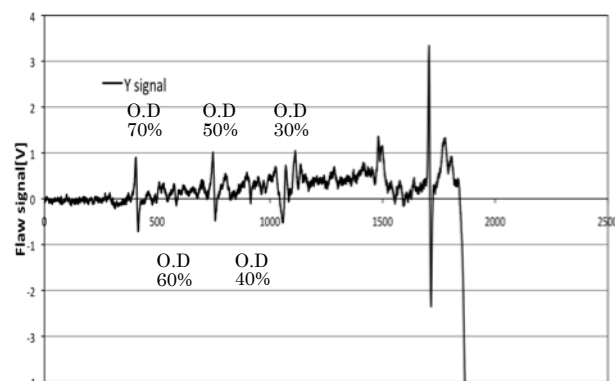


(b)Imaginary component of signal

Fig.4 $I_p=p=10A, T=1ms, \tau_p=100\mu s, Gain=38dB$

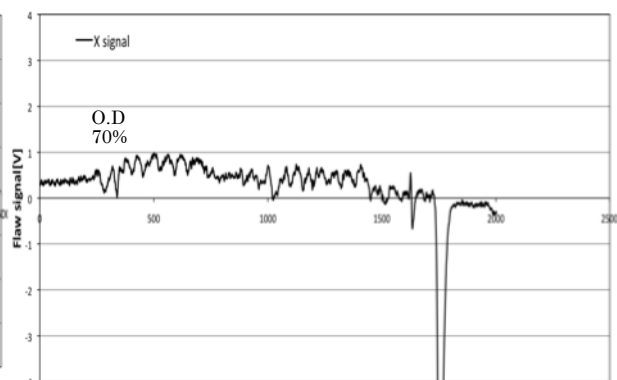


(a)Real component of signal

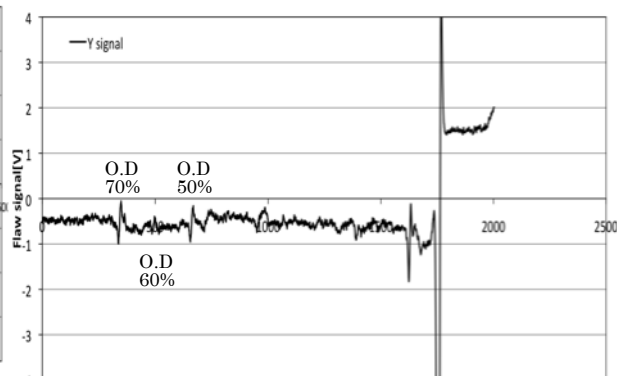


(b)Imaginary component of signal

Fig.5 $I_p=p=10A, T=1ms, \tau_p=300\mu s, Gain=38dB$



(a)Real component of signal



(b)Imaginary component of signal

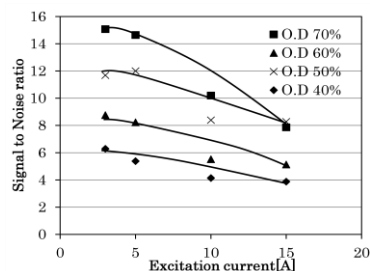
Fig.6 $I_p=p=10A, T=1ms, \tau_p=500\mu s, Gain=38dB$

(2) パルス渦電流試験に対する SN 比の評価

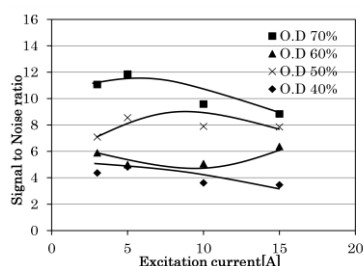
Fig. 7 にパルス幅を一定としたときの励磁電流 3~15[A]における SN 比を示す。Fig. 7(a)はパルス幅が 300[μs]の場合である。同図を見ると、励磁電流のピーク値の増加に対して SN 比が減少している傾向が見られる。また、減肉率 60%と 50%の外周きずにおける SN 比が逆転している。これは 60%のきずの部分の磁気的特性が他と異なっていることが原因と考えられる。一方、Fig. 7(b)はパルス幅が 400[μs]の場合である。励磁電流のピーク値の増加に対して SN 比が減少していることもFig. 7(a)と同様である。また、Fig. 7(a)と同様に減肉率 60%と 50%の外周きずにおける SN 比が逆転している。

次に Fig. 8、9 は励磁電流 10[A]一定で、パルス幅 50~800[μs]の場合のきず信号、磁気ノイズ, SN 比の変化を示す。Fig. 8(a)を見ると、パルス幅が 300[μs]を越すと急激に信号が減少し 400~500[μs]で極小になり 500 [μs]を過ぎると増大している。一方、Fig. 8(b)を見ると、ノ

イズもパルス幅の増加と共に減少し 400～600[μ s]で極小値になる。Fig. 9 を見るとパルス幅の増加に対して SN 比は増加傾向であるが、400～500[μ s]で極小値となっている。これは Fig. 8、9 に示した通り、きず信号の減少傾向がノイズの減少傾向より大きいいため SN 比は 400～500[μ s]で極小となると考えられる。

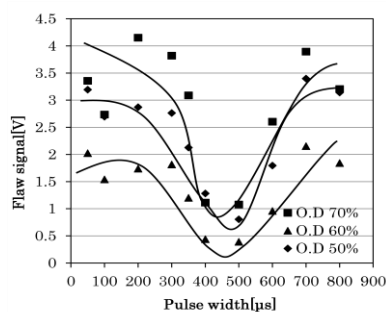


(a) Pulse width: 300 μ s

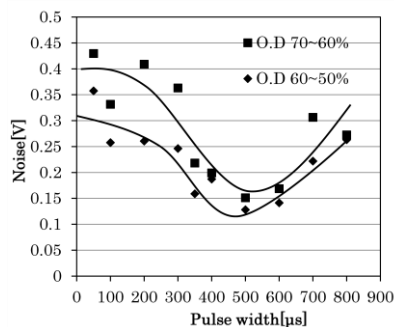


(b) Pulse width: 400 μ s

Fig. 7 SN ratio for Excitation current



(a) Signal



(b) Noise

Fig. 8 Flaw signal and Noise for pulse width

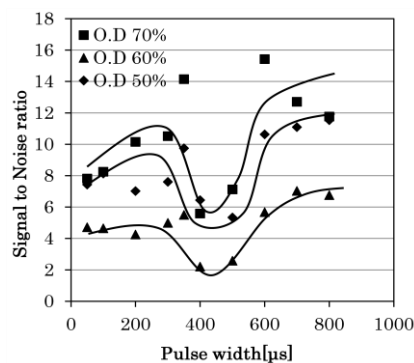


Fig. 9 SN ratio for pulse width

5. おわりに

鋼管のパルス渦電流試験において、パルス励磁電流のパルス幅と振幅がきず信号の SN 比に与える影響を検討した。

初めに、励磁電流 10[A]一定でパルス幅が 100～500[μ s]の探傷波形については、パルス幅が 100[μ s]の場合は磁気ノイズが低減できておらず、パルス幅が 300[μ s]、500[μ s]と広くなるにつれて磁気ノイズが減少することが確認できた。また、パルス幅を 100～800[μ s]まで変えたままの外面きずの信号とノイズを調べてみると、パルス幅が 400～500[μ s]において、きず信号とノイズが共に極小値となっていることが確認できた。このことから SN 比を求めるとパルス幅が 400～500[μ s]で極小値となっていることも確認できた。次に、パルス幅 300[μ s]あるいは 400[μ s]で励磁電流の振幅を 3～15[A]までの SN 比について、300[μ s]では励磁電流の増加に対して SN 比が減少していることが確認できた。また、300[μ s]および 400[μ s]に共通し減肉率 60%と 50%の外面きずにおける SN 比が逆転していることも確認できた。よって、パルス幅については SN 比が極小となる 500[μ s]前後を除き 300[μ s]と 700[μ s]が SN 比として良いがコイルの発熱を考えると 300[μ s]の方が最も適していることが分かった。なお、励磁電流を大きくすると SN 比が低下するので、励磁電流を小さくした場合について、SN 比を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 小井戸純司, 加藤修一, 内挿コイルを用いたパルス渦電流試験による強磁性伝熱管の探傷, 非破壊検査, 61 巻, 7 号, 2012, pp. 331～340