

周波数選択型超音波探傷装置の開発

Development of the Frequency Tuning Type Ultrasonic Inspection Equipment

住友金属工業(株)鋼管製造所 兵藤 繁俊*・暮石 哲
(株)トキメック 計測事業部 佐藤 泉

1. はじめに

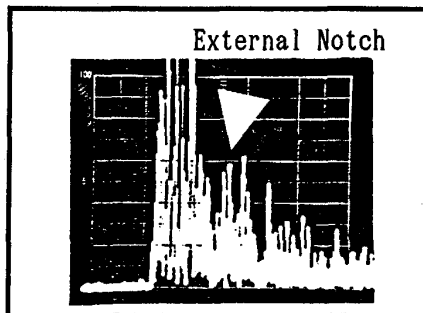
シームレス鋼管の品質保証手段として、超音波探傷法が多用され製品の信頼性向上に大きく寄与している。本検査法は、金属材料中で超音波エネルギーの一部が疵により反射される現象を利用した検査方法である。

しかし、超音波は、金属組織粒界でも反射散乱しエネルギーを失う。これが減衰である。一方、反射散乱した超音波エネルギーの一部は、ノイズ信号として検出されるので、減衰の度合いが著しい材料では、低S/N比で十分な超音波検査が出来ない場合がある。特に、高温環境下で使用されるステンレス鋼管や高合金鋼管では、材質や結晶粒度の面から超音波の減衰が著しいので、この問題は顕著である。

当社では、従来法の問題点を解決する方法として、広帯域・高周波プローブを用いると共に、受信した超音波信号の周波数に着目し、選択的に疵信号を抽出してS/N比を向上させる新型超音波探傷装置を開発した。

以下に、本開発技術の特徴並びに基本性能について概要を報告する。

2. 超音波の減衰と散乱ノイズエコーの発生



超音波が金属材料中を伝搬する際に生じる散乱ノイズエコーは、Fig. 1のステンレス鋼管の探傷波形例のように著しいS/N比低下の主因となる。

(材料寸法： $\phi 39 \times 3$ t, 材質：NCF800)

超音波の減衰度合いは、結晶粒度と密接な関係があり、結晶粒が粗大なほど減衰も顕著になる。[1]

Fig 1. Photograph of The Ultrasonic Inspection Signal.

超音波の減衰の影響を軽減する為に、一般には低周波探触子が用いられる。しかし、この方法は、厚肉材等で検出対象疵が大きい場合にはS/N比向上に効果があるが、薄肉材等で検出対象疵が小さい場合には、検出性能が不足し十分な性能が得られない。[2]

3. 超音波信号の周波数解析

- (1) 超音波信号の周波数を解析する試みがなされているが、実用段階にはない。超音波探傷法では、探触子から発振される波形が異なると周波数分布が異なる為に、その効果の定量化は難しい。
- (2) 従来の狭帯域プローブを用いた探傷では、発振波の周波数が限定されるので、疵信号とノイズ信号の周波数に差異はなく、両者を周波数弁別する事は出来ない。

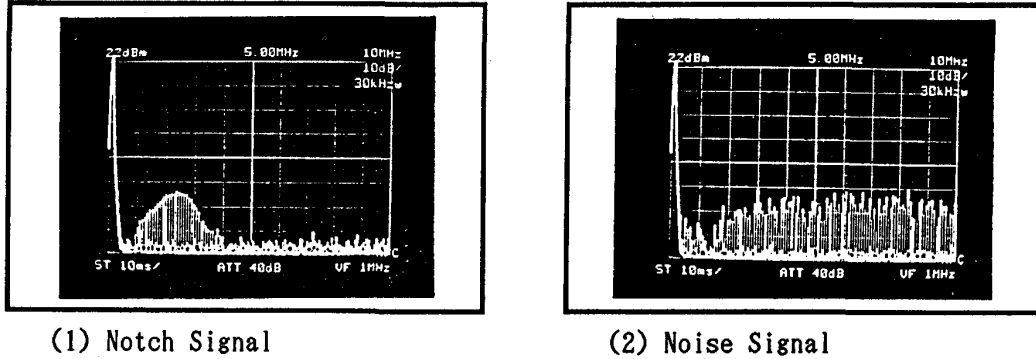
今回、広帯域・10MHzプローブを用いて高減衰材料を探傷した。この時の疵信号とノイズ信号の周波数分布をスペクトラムアナライザーを用いて解析した。この結果をFig. 2にしめす。

平成 4年 6月 1日 受付 (Received on June 1, 1992)

* Shigetoshi Hyodo (Steel Tube Works, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 1 Higashi-mukojima Nisino-cho Amagasaki 660)

散乱ノイズ信号は、高周波成分のエネルギーが高い。これは高周波信号が低周波信号に比べ減衰が大きい事に起因している。一方、疵信号は探触子から発振された広帯域信号からノイズ信号の周波数成分を除いた分布となるので、受信波の中心周波数は発振波に比べ低下している。

Material:NCF800 Dimension:φ39×3t Transducer: 10MHz/Broad Band



(1) Notch Signal

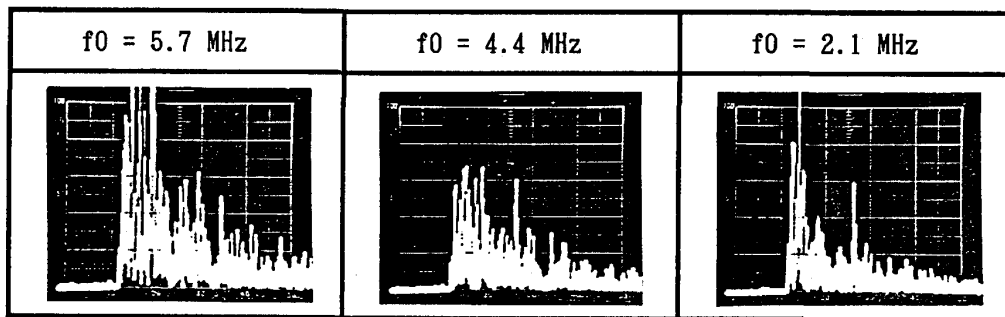
(2) Noise Signal

Fig.2 Photographs of The Frequency Analysis Equipment for The Notch Signal and Noise Signal Using The Broad Band Transducer.

(3) 前記のごとく、ノイズ信号は高い周波数成分が多く、疵信号は中心周波数が低周波に移動しているので探傷装置側で受信周波数の差異に着目すれば疵検出S/N比を向上できる。

Fig. 3は、受信回路の選択周波数を変化させた時の、探傷波形の変化の一例をしめしている。受信周波数が高い場合、疵信号とノイズ信号が弁別出来ないが、2.1 MHz低周波を選択すると疵信号が明確に検出出来ている。この弁別効果は、プローブの中心周波数が常用の5 MHzよりも高周波の10 MHzで良好であった。

Material:NCF800 Dimension:φ39×3t Transducer: 10MHz/Broad Band



f_0 : Tuned Wavefilter Frequency

Fig.3 Photographs of The Ultrasonic Signal Using Tuned Wavefilter.

4. 周波数解析法の基本特性

三種類の材質の短尺試験材を種々温度で熱処理して、結晶粒度を変化させた。これらの試験材上に加工した人工欠陥を、開発装置および従来装置で探傷し結晶粒度と探傷性能の関係を調査した。

(1) 結晶粒度と疵信号およびノイズ信号の大きさの関係を、Fig. 4にしめす。結晶粒が粗大(粒度番号が小)になるにつれ、疵信号の大きさは減衰の影響を受けて減少するが、反対に、散乱ノイズ信号は拡大してゆく。

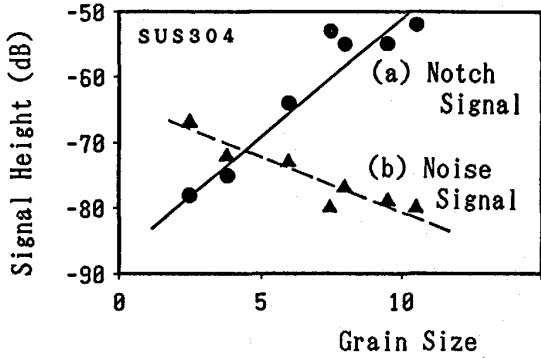


Fig.4 Relationship Between Grain Size and Signal Echo Height. [(1) Notch Signal (b) Noise Signal]

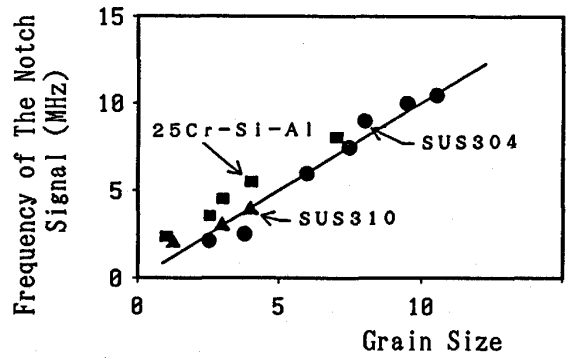


Fig.5 Relationship Between Grain Size and Frequency of The Notch Signal.

(2) 広帯域探触子を用いた場合、超音波の減衰にともない疵信号の中心周波数が低下する。しかし、Fig. 5にしめす通り、材料の結晶粒度と疵信号の周波数の間には、良好な相関性があるので、材料の結晶粒度から選択すべき受信周波数をおおむね決める事ができる。

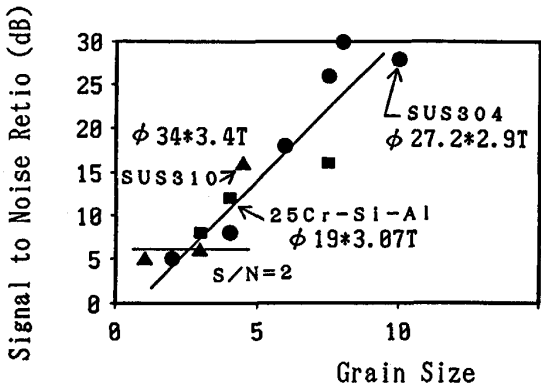


Fig.6 Relationship Between Grain Size and Signal-to-Noise Ratio Used in The New Method.

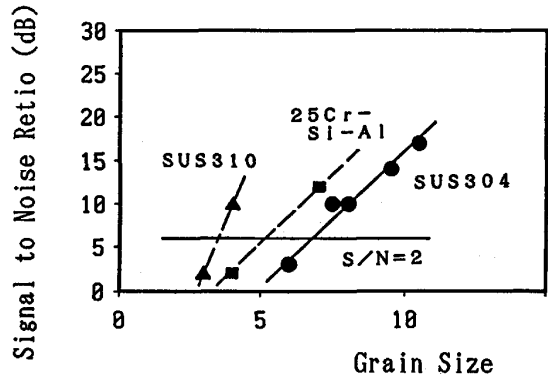


Fig.7 Relationship Between Grain Size and Signal-to-Noise Ratio Used in The Conventional Method.

(3) 開発法と従来法の探傷性能の調査結果を、Fig. 6~7に比較する。

従来法では、疵検出限界は細粒にあり、粗粒材の検査は困難である。一方、開発法では、結晶粒度 ≈ 2.5 が適用限界で、粗粒材の検査も可能である。又、材質の影響が少なく良好な性能が得られる。

5. 周波数選択型超音波探傷装置の開発

今回開発した周波数選択型超音波探傷装置の回路構成を、Fig. 8にしめす。

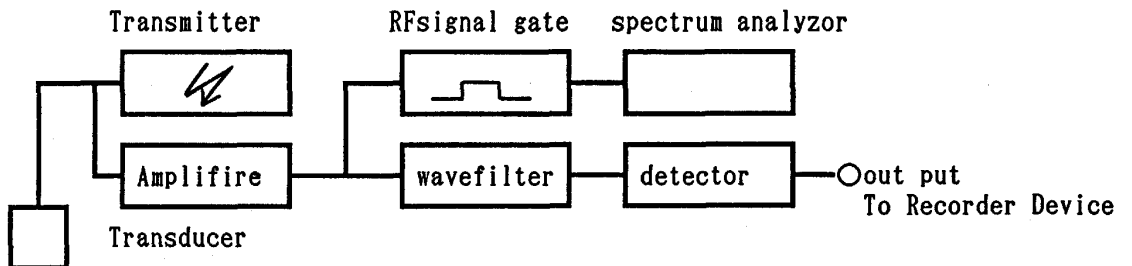


Fig.8 Outline of The Frequency Tuning Type Ultrasonic Inspection Equipment.

超音波発振波および探触子は、広帯域特性である。受信波は増幅された後に、所定周波数の信号だけがウェイクフィルター回路で選択される。この選択された信号は、判定回路をへて記録計等に出力される。

又、超音波信号の周波数解析用にゲートドRF回路が設けてあり、任意の部分の静止波形の解析が可能になっている。

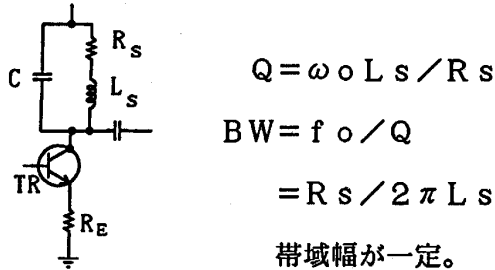


Fig. 9は、開発装置で用いた周波数選択回路の構成原理図をしめす。

回路中のコンデンサーCの値を変化させて周波数選択回路の中心周波数f₀を変更する。

この回路は、選択帯域幅(BW)を一定に出来る事が特徴である。(Fig. 9)

但し、本回路では、中心周波数の変更に伴って総合感度が増加するので、補正を施している。[3]

Fig.9 Outline of The Frequency Tuning Type Circuit.

6. 開発法の探傷性能試験結果

Material: NCF800

Dimension: φ 54 × 4t

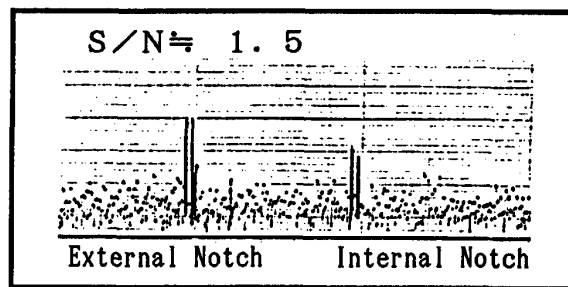
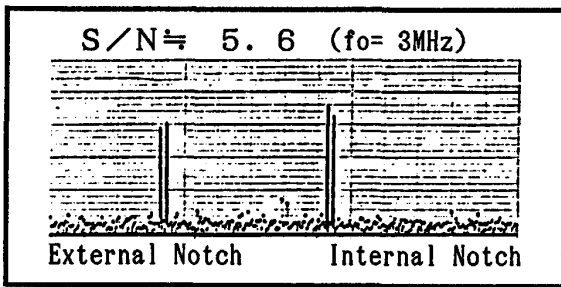


Fig.10 Recording Charts Used in The New Method. (10MHz Broad Band Transducer)

Fig.11 Recording Charts Used in The Conventional Method. (5MHz Narrow Band Transducer)

高減衰材料に加工した内外面軸方向人工欠陥を、開発装置および従来装置で動的に探傷した。この時の検査チャート例を、Fig. 10~11にしめす。

従来法では、S/N ≒ 1.5で検査が困難な材料が、本開発法では、S/N ≒ 5.6で疵検出が可能であり大きな性能改善効果が認められた。

7. まとめ

高周波・広帯域探触子を用いた周波数選択型超音波探傷装置を開発した。

本開発法は、極めて有効な方法であり大幅なS/N比の改善が可能であると共に、従来法で検査出来なかった結晶粒度 ≧ 2.5の材料の検査が可能である。

本開発法は、種々材質の鋼管が一種類の探触子で検査出来る現場的な方法である。今後、本開発装置の実用化を図ってゆく計画である。

(参考文献)

- [1] 超音波探傷試験B 日本非破壊検査協会
- [2] 『 ステンレス 鋼管の超音波探傷法の開発』 JSNDI H3秋季大会 兵藤、暮石
- [3] 『 周波数選択型超音波探傷装置の開発』 JSNDI H4春季大会 兵藤、暮石、佐藤