
厚鋼板の自動超音波探傷装置

Automatic Ultrasonic Testing System for Steel Plates

宇野 義雄(Yoshio Uno) 森田 博之(Hiroyuki Morita) 須田 軍三(Gunzo Suda) 永倉
義之(Yoshiyuki Nagakura) 松村 和良(Kazuyoshi Matsumura)

要旨：

1976年3月に川崎製鉄（株）水島製鉄所第2厚板工場の厚鋼板自動探傷装置が運転を開始した。当装置は分割型探触子を用いたパルス反射法を採用しており、0.6mmの水膜を介して鋼板に接触する。当装置の特徴は次のとおりである。(1)対象板板幅最大5400mm、チャンネル数64の大型探傷装置である。(2)自動走査パターンが5種あり、特に全面探傷が可能である(3)ミニコンピュータによって自動判定が実施される。(4)探傷結果が即刻CRT上に図式表示される。(5)探傷結果は、被検査材上の欠陥位置に対応して100mm走査長ごとに数値化され、プリントアウトされる。(6)検出感度が安定し、大幅な省力効果が得られた。

Synopsis：

This jumbo system with 64 probes came into operation in March 1976 at the No.2 plate mill in Mizushima Works. It deals with plates up to 5.4m in width and evaluates and puts out the test results automatically with the aid of a mini-computer. Namely, the flaw length rate per every 100mm scanning is printed out in correspondence with the tested position. Real time test results are also shown on CRT graphically. The principle of detection is based on the ultrasonic pulse echo technique using double crystal probes. Multi probes come into contact with the plate surface through 0.6mm thick water film. Five automatic scanning patterns including 100% scanning are available. Flaw detection reliability has been upgraded and labour efficiency increased well enough.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

厚鋼板の自動超音波探傷装置

Automatic Ultrasonic Testing System for Steel Plates

宇野 義雄*

Yoshio Uno

森田 博之**

Hiroyuki Morita

須田 軍三***

Gunzo Suda

永倉 義之****

Yoshiyuki Nagakura

松村 和良*****

Kazuyoshi Matsumura

Synopsis:

This jumbo system with 64 probes came into operation in March 1976 at the No. 2 plate mill in Mizushima Works. It deals with plates up to 5.4m in width and evaluates and puts out the test results automatically with the aid of a mini-computer. Namely, the flaw length rate per every 100mm scanning is printed out in correspondence with the tested position. Real time test results are also shown on CRT graphically.

The principle of detection is based on the ultrasonic pulse echo technique using double crystal probes. Multiprobes come into contact with the plate surface through 0.6mm thick water film. Five automatic scanning patterns including 100% scanning are available. Flaw detection reliability has been upgraded and labour efficiency increased well enough.

1. 緒 言

厚鋼板の製品品質のなかでも内部欠陥、たとえばラミネーションや大型非金属介在物などの存在は重要な問題である。特に大型構造物、压力容器、パイプライン等の使用条件のきびしい用途に対しては内部清浄性のすぐれた鋼板が要求される。この問題に対処し、清浄な鋼板を生産するために製鋼、圧延の各工程では多大の努力がはらわれている。さらに検査工程では、内部欠陥検査による製品品質の保証と検査結果による上流工程の改良を行う目的で超音波探傷法が広く採用されている。

超音波探傷は従来手動によって行われ熟練者の経験に頼る面があったが、近年は機械化もしくは自動化し、欠陥検出能の安定化と処理能力の向上を図るのが一般的傾向である。

当社では、すでに1974年千葉製鉄所厚板工場に厚鋼板自動超音波探傷装置を導入し使用しているが、今回水島製鉄所第2厚板工場にも大型かつ最新鋭の同装置を設置し、厚鋼板製品の品質保証の用に供した。同装置は1976年3月の工場稼動と同時に営業運転を開始した。

以下、同装置の仕様、構成ならびに運転状況を報告する。

* 水島製鉄所システム部自動化技術室掛長

*** 水島製鉄所管理部検査課掛長

***** 水島製鉄所品質保証室

** 水島製鉄所システム部自動化技術室

**** 水島製鉄所管理部検査課

2. 仕 様

当装置は、鋼板の表面に 0.6mm の水膜を介して接触した探触子から鋼板に超音波パルスを送受信し、そのエコーの発生位置と強さから内部欠陥を検出するものであり、いわゆるパルス反射法である。その原理を Fig. 1 に示す。

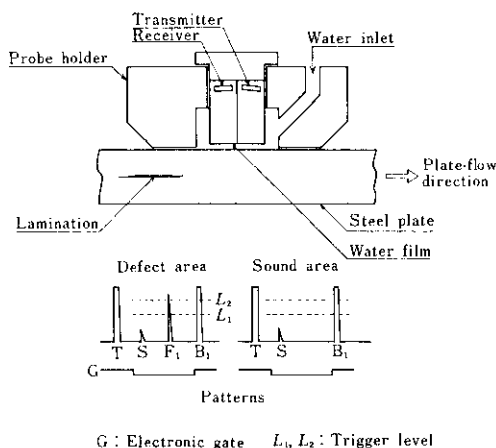


Fig. 1 Pulse echo technique with double crystal probe

2.1 被検査材条件

板厚	6～40mm
板幅	900～5 400mm
板長	2 300～25 000mm
表面性状	圧延黒皮面
形状	四周せん断板および耳付板
温度	最高150℃
平坦度	最大50mm
搬送速度	最大60 m/min, いったん停止あり

鋼板停止精度 最大±30mm

板幅端基準 基準側の振れ0～最大+100mm

2.2 装置の仕様

(1) 探傷方式

分割型探触子によるパルス反射法で、水膜接触式である。あらかじめ設定したレベル以上の欠陥エコーが出現した時に欠陥と判断する。

(2) 探傷器

超音波周波数 5 MHz

パルス繰返周波数 1 kHz

チャンネル数 64ch

受信器増幅直線性 1級 (JIS Z 2344)

(3) 走査パターン

下記(a), (b)の組合せによって、Table 1 に示す5種類の走査パターンが可能である。

(a) 鋼板四周 60mm幅、表裏面より探傷

(b) 鋼板内部 20mm幅、100mmピッチの長手方向連続走査、表面より探傷

一例として TBSIN 1パターンを Fig. 2 に示す。

(4) 欠陥検出能

2.1の条件下で、鋼板裏面から加工した1/2深さの2.5mm幅平底溝型人工欠陥を、それと直角な方

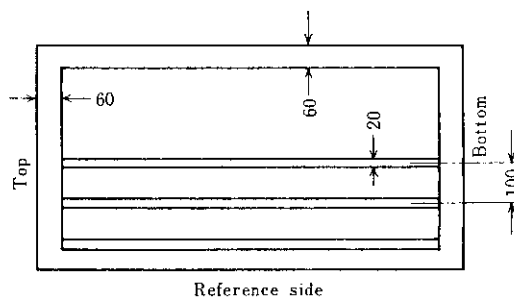


Fig. 2 TBSIN 1 scanning pattern

Table 1 Five types of scanning patterns

No.	Name of scanning patterns	Scanning area			
		Periphery			Inside (%)
		Top	Bottom	Sides	
1	TBS	○	○	○	—
2	SIN 1	—	—	○	20
3	TBSIN 1	○	○	○	20
4	TBSIN 3	○	○	○	60
5	TBSIN 5	○	○	○	100

向の60m/min走行状態で100%検出可能である。

(5) 信号処理

(a) 採取データ

欠陥データ：軽重2レベル

音響結合データ：1レベル

距離信号：テーブル搬送距離および台車
走行距離

(b) 処理内容

採取データの集計

探傷結果の自動判定

結果の自動記録（ラインプリンタ）

結果の即時表示（CRT）

(6) 処理量

目標 約10 000枚/月

実績 4 500枚/月（ただし2コ班操業）

3. 装置の構成

探傷装置および周辺設備のレイアウトを Fig. 3 に示す。精整ヤードの倉庫搬入ラインのわきに探

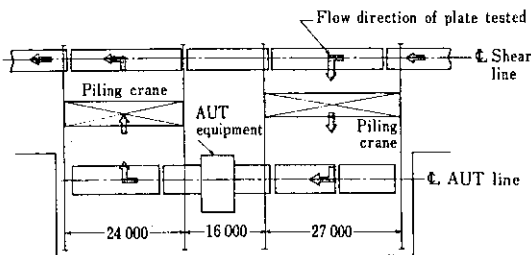


Fig. 3 Layout of the system

傷専用のテーブルラインを設け、探傷装置を載置した。探傷ラインへの鋼板の搬出入は入側および出側のパイリングクレーンによって行われる。

要探傷鋼板は倉庫搬入ラインから選択取込みされるが、その到来ピッチと探傷装置の処理能力とは整合をとる必要がある。当装置では、入側・出側のパイリングクレーン直下を山積場として使用し、整合用バッファの役目をさせている。

取込み以降の鋼板の動きと作業の進行は次のとおりである。

- (1) 探傷ラインに乗せた鋼板を手動操作で探傷装置直前まで搬送し、いったん停止させる。

- (2) 板番を目視確認し、上位情報処理システムへ板番をキーにして板情報を要求する。
- (3) 板情報が探傷装置の信号処理用ミニコンピュータへ送られる。
- (4) 探傷装置の初期設定が行われ、「探傷可」信号が探傷ライン側へ送られる。
- (5) 探傷の自動運転を起動させる。
- (6) 探傷装置と探傷ラインの制御が自動的に行われ、探傷が実施される。同時に結果の表示・プリントアウト・判定が行われる。探傷終了後、鋼板が所定の位置まで進んで停止し、自動運転が完了する。
- (7) 探傷結果に基づき、被探傷材の行先をオペレータが最終決定し、上位情報処理システムへ送信する。
- (8) 鋼板を出側パイリングクレーンで吊上げ、行先を指示してからクレーンの自動運転を開始させる。

探傷装置の構成を Fig. 4 に示す。装置は大別して探傷部、機構部、制御部、信号処理部の4ブロックからなっている。また外部との信号授受が、探傷ラインテーブル制御系および上位情報処理システムとの間で行われている。

3.1 探傷部

(1) 探傷器

当装置ではマルチプレクサ方式を採用し、主増幅器とシグナルゲートとを16チャンネルが時分割で共用している。したがって、全体で64チャンネルの探傷を4台のマルチプレクサ探傷器で行う。1台あたりのブロック図を Fig. 5 に示す。

(2) 探触子

探触子64個は同一型式（5Z6×25ND）の分割型探触子であるが、探触子保持機構への組込みかたにより次の2群に分けられる。

- (a) I 探触子：内部探傷用 52個

各個が独立して用いられる。

（Photo. 1 参照）

- (b) 四周探触子：四周探傷用 12個

3個ずつが一つの保持機構へ組込まれ、計60mm幅の走査を行う計4組（Photo. 2 参照）

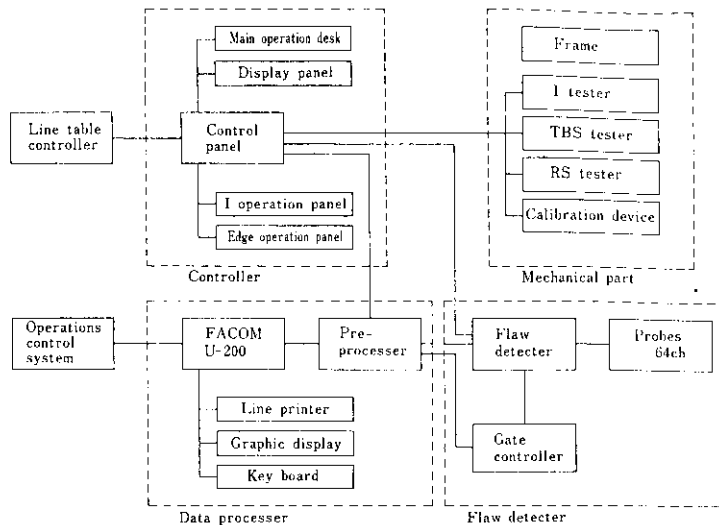
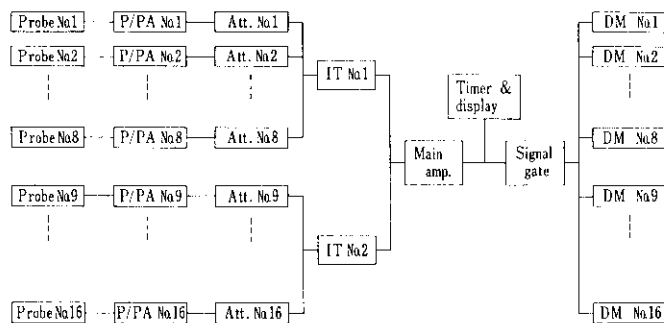


Fig. 4 Block diagram of the system



P/PA: Pulsers and preamp., Att.: Attenuator
IT: Impedance transformer, DM: Data memory

Fig. 5 Block diagram of a flow detector with multiplexer system



Photo. 1 Probes for inside testing

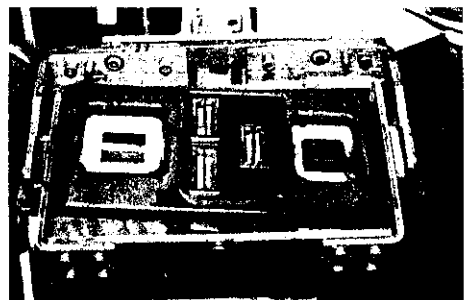


Photo. 2 Probe holder for edge testing

3・2 機構部

機構部を Fig. 6 に示す。大別すると四周探傷

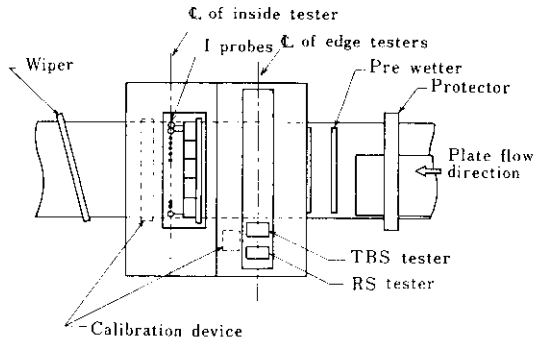


Fig. 6 Arrangement of mechanical parts

機構と内部探傷機構とである。

(1) 四周探傷機構

TBS 台車と RS 台車を搭載しており、鋼板四周の走査を行う。TBS 台車は、探触子保持機構が鋼板のトップ、反基準サイドおよびボトムに対応して 0° 、 90° および 180° と回転し、1台で鋼板四周のうち3辺を走査探傷する。RS 台車は基準サイドのみを走査する。また、両台車とも鋼板の表裏面から同時に探傷を実施する構造となっており、板厚方向の不感帯を減少させている。さらに両台車ともに板端ならい機構をもっている (Photo. 3 参照)。

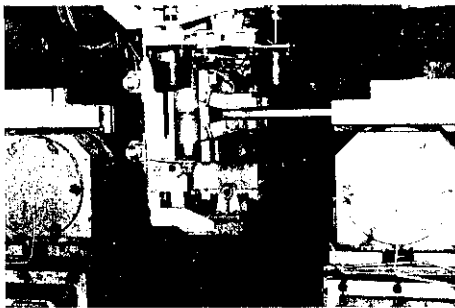


Photo. 3 TBS tester at top-edge testing

(2) 内部探傷機構

100mm ピッチ52個のI探触子群を搭載しており、これによって鋼板内部を長手方向に櫛歯状に走査探傷する。そのI探触子群は油圧サーボ機構による板端ならい機能を持ち、また20mm ずつ最大80mmの板幅方向シフトが可能である。

3・3 制御部

(1) 制御盤

無接点素子を多用しており、探傷のシーケンス制御を行う。機能的には、下記の3探傷モードがある。

- (a) 自動: Table 1 に示した5種類の走査パターンを自動で実施する。
- (b) 手動: 各機器を個別に手動操作することによって走査探傷を実施する。
- (c) バックアップ: 自動シーケンス中に一時的に手動操作を導入させる。

走査パターン TBSIN 1 では内部探傷が順方向1回の鋼板搬送により、また TBSIN 3 および TBSIN 5 では内部探傷がそれぞれ3回 (1往復半) および5回 (2往復半) の連続鋼板搬送によって実施される。この複数回搬送の走査パターンでは、搬送1回ごとにI探触子群を板幅方向へ規定量だけシフトさせて走査面積を増大させている。したがって、今まで他装置では実現できなかった鋼板面積の60%もしくは100%の連続走査が短時間で可能である。

(2) 操作盤

3つの探傷モードのいずれにも使用する主操作盤と、手動モード時のみに使用する現場操作盤2面とがある。主操作盤上には19項目の警報装置を備えている (Photo. 4 参照)。



Photo. 4 Interior of the operating room

(3) 表示盤

探傷のシーケンスを逐次表示し、機器動作の現状を即座に把握できる。

3.4 信号処理部

信号処理部は、前処理装置、ミニコンピュータ (FACOM U-200 コア64kB)、グラフィックディスプレイ、ラインプリンタ、擬似信号発生器から成る。

探傷部からの探傷信号とテーブル搬送もしくは台車走行の距離信号とにより、まず距離 1mm 区間ごとに欠陥有無を判断する。ついでこれを 10mm の小仮想区間ごとに集計し、しきい値と比較してこれが健全区間であるか否かを判断する。

U-200は、この10mm小仮想区間ごとの判断結果を100mmの大仮想区間ごとに集計し、これをしきい値と比較してリアルタイムでグラフィックディスプレイに、また集計値そのまゝをラインプリンタに送る。走査完了後には欠陥データの集計値と音響結合不良データの集計値とによって探傷結果の判定を行い、グラフィックディスプレイおよびラインプリンタに結果を送る。

ラインプリンタの記録フォーマットを Fig. 7 に示す。グラフィックディスプレイでは、軽欠陥・重欠陥・音響結合不良3者が1チャンネルの100mm区間を1ドットとしてそれぞれマップ表示される。また、板情報および判定結果も表示される (口絵写真参照)。

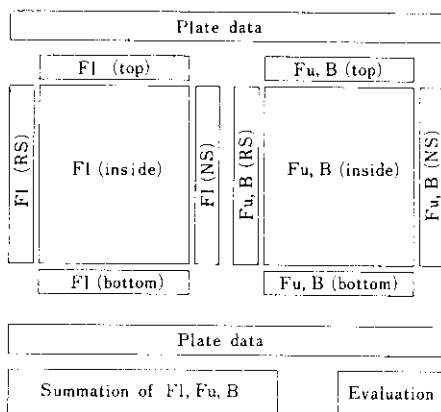


Fig. 7 Print out format of test results

4. 試運転結果

4.1 探触子の性能

距離振幅特性は、表面から 3~36mm において -6dB 以内である (Fig. 8 参照)。

有効ビーム幅は、音響分割面に平行な方向に -6dB 範囲で約 22mm、-3dB 範囲で約 20mm を確保している。また音響分割面に垂直な方向では、-6dB 範囲で約 5mm である (Fig. 9 参照)。

表面 (S) エコーレベルは、水膜 0.6mm において最大エコー高さから -38~-46dB である。また検出感度は、STB-N1 の 5.6mmφ のエコー高さが最大エコー高さから -9~-12dB である。

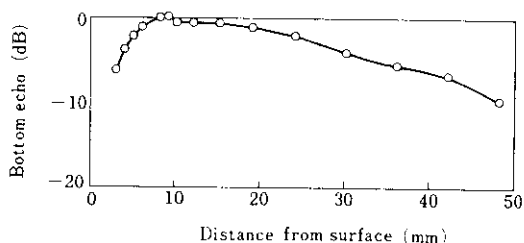


Fig. 8 Distance amplitude characteristic of double crystal probe (5Z6x25ND)

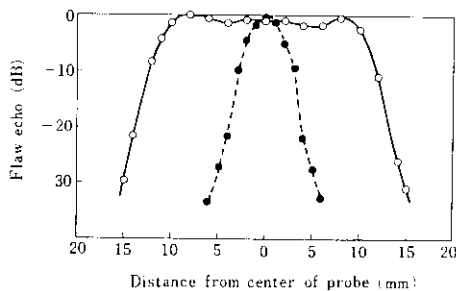


Fig. 9 Beam spread of double crystal probe (5Z6x25ND)

4.2 欠陥検出能

(1) 静的検出能

鋼板厚さ 8mm で裏面から 4mm にある 1.4mmφ 平底穴のエコーを CRT 上 50% に検出する感度は、7

