

高感度水浸 C スキャン超音波探傷装置

Immersion Type, C-scan Ultrasonic Testing Equipment

宇野 義雄*
Yoshio Uno

森田 博之**
Hiroyuki Morita

松本 延雄***
Nobuo Matsumoto

永倉 義之****
Yoshiyuki Nagakura

川村 紘一*****
Koichi Kawamura

丸山 英雄*****
Hideo Maruyama

Synopsis:

Kawatetsu Metrological Equipment & Vending Machine Co., Ltd. has developed a new immersion type C-scan ultrasonic testing equipment in cooperation with Kawasaki Steel Corp. The equipment with a focusing type sensitive probe detects fine internal defects of the steel plates from 1.0mm to 40mm in thickness immersed in a water bath.

The equipment is featured by:

- (1) High sensitivity to be able to detect even 0.2mm slit,
- (2) Small surface dead zone of 0.3mm in thickness to enable the inspection of a plate even 1.0mm in thickness, and
- (3) High resolution of the recording map together with easiness of either magnification or reduction in printing size.

The equipment has been making a great contribution to the measurement of crack area ratio in hydrogen induced cracking test and to the determination where to cut out microscopic samples including a micro defect just on the section.

1. 緒 言

原子力用材、圧力容器用材、ラインパイプ用材等の鉄鋼材料に対する品質要求は、使用条件の過酷化と安全性の確保の点から一段と厳しくなりつつある。この要求に対応して、製鋼から圧延にいたる各工程での品質管理の、一手段として広範囲に利用されている非破壊検査にもその性能の向上が厳しく求められている。

今回、水素誘起割れ（HIC）試験の面積率測定および鋼板中の微細介在物の測定を目的として、感度、不感帯および記録性に優れた「高感度水浸 C スキャン超音波探傷装置」を川鉄計量器(株)と共同で開発した。

本装置は昭和 52 年 12 月から水島製鉄所で使用され、HIC 試験などに大きく貢献している。以下本装置の構成と特長および使用実績について紹介する。

* 水島製鉄所システム部制御技術室主査(課長待遇)

*** 水島製鉄所管理部検査課掛長

***** 計量器技術センター主査(掛長待遇)

(昭和55年2月13日原稿受付)

** 水島製鉄所システム部制御技術室主査(掛長待遇)

**** 水島製鉄所管理部検査課

***** 技術研究所計測研究室主任研究員

2. 装置の仕様と特長

2.1 概要

超音波探傷の場合、探触子と被測定物（試料）との間に超音波を伝える接触媒質を介在させる必要がある。実際の探傷形態は、試料表面と探触子との間にわずかの水や油を介在させて探傷する直接接触法と、十分な距離をとってこの間を水で結合する水浸法に大別できる。水浸法は、直接法に比して特別な測定装置を必要とするが、以下の特長を持っている¹⁾。

- (1) 試料の表面粗さの影響を直接受けず、安定した探傷ができる。
- (2) 探触子が機械的衝撃を受けないので、薄い振動子を採用できる。したがって、高い周波数を適用でき、高感度の探傷が可能である。
- (3) 音響レンズを使用できるため、超音波ビームを絞りエネルギーを一点に集中できるので感度の高い探傷と同時に部分的に的を定めた探傷も可能である。

C スキャン装置はこの水浸法の一つであり、Fig. 1 に示すように、試料から一定距離に保たれ平面的に移動可能な探触子が、試料全面をカバー

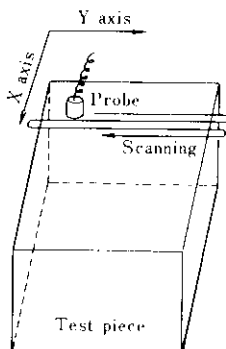


Fig. 1 Schematic representation of C scan method

するように走査しながら水を介して探傷する装置である。探触子の動きと同期した記録システムによって、試料を上部から見た2次元的な欠陥分布図が得られる。

本装置は、探傷器、スキャン制御部、スキャン機構部、水槽、記録計の各部から構成される。全体の構成図を Fig. 2 に、ブロック図を Fig. 3 に示す。

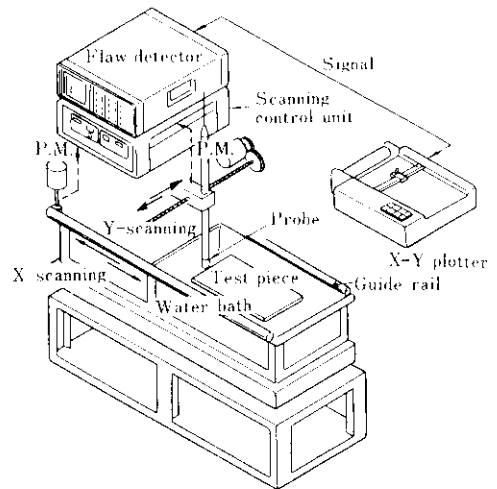


Fig. 2 General composition of equipment

2.2 仕様

探傷可能板面積：最大 350mm×700mm

探傷可能板厚：1.0*~40.0mm

板厚方向不感帯：表裏面直下 0.3mm*

(*：静的条件での値)

探傷器：MARK III (米因, SONIC 社)

探触子：水浸焦点型探触子 (2~15MHz)

スキャン方式：パルスモータによる
デジタル送り

X 方向ピッチ：0.1~5.9mm, 0.1mm きざみ
で設定可能

Y 方向速度：15~150mm/s, 連続可変

記録計：X-Y プロッター

記録方式：低圧放電記録方式

記録倍率：1/2, 1/3, 1/4, 3段階切替え

探傷感度：0.2mm スリット標準疵および
0.1mmφ ピアノ線が検出可能

2.3 特長

本装置の特長を列挙すると以下の点である。

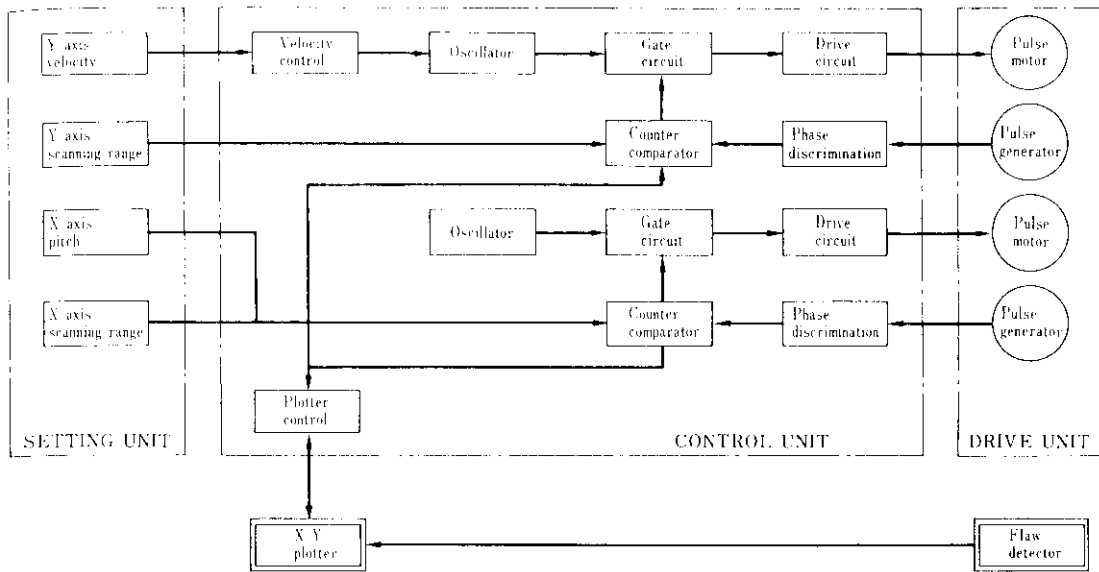


Fig. 3 Block diagram of control system

- (1) 探傷感度が良いので、0.2mm スリット標準疵および 0.1mmφ ピアノ線を十分な感度余裕をもって探傷できる。
- (2) 表裏面直下の不感帯が 0.3mm と小さいので厚さ 1.0mm までの薄鋼板の探傷が可能である。
- (3) 記録計はデジタル X-Y プロッター方式でスキヤニング機構への追従性が良く、また拡大、縮小記録が可能である。
- (4) 低圧放電記録紙の採用により、分解能が高く記録像が鮮明である。また記録時の悪臭がまったくなく、記録結果の経時変化もない。
- (5) スキヤニング機構、記録計共にデジタル制御方式であり、計算機への接続端子を有しているので、探傷結果の自動解析が可能である。
- (6) Y 方向の走査は、繰り返し周波数を低く抑えられる等速運動とした。また板幅に応じた探傷幅の設定ができる。

3. 各部の説明

C スキャン UT 装置を構成する各部分のうち、とりわけ探傷器、探触子、スキヤニング機構の性能が重要である。ここではこれらの概要と総合性能について簡単に説明する。

3.1 探傷器

微細欠陥を精度良く検出するためには、高い周波数の振動子を能率良く駆動させる送信器と、短いパルスを誤りなく受信し増幅する広帯域の受信器が必要である。筆者の採用した探傷器の測定結果を Table 1 に示す。送信パルス幅が 2.5mm と従来の探傷器のそれに比べ 1/2 程度であり、また感度余裕の点でも優れている。したがって、不感帯を少なく、かつ S/N 比を高くすることが可能となる。

Table 1 Calibration record of C-scan UT flaw detector (JIS G 2344)

Measurement item	Data (5MHz)
Linearity of amplifier	3.2%
Linearity of time base	0
Resolution	X=51 (dB)
T-pulse width	2.5(mm)
Gain margin	47 (dB)

3.2 探触子

水浸 C スキャン方式の大きな利点は、焦点型探触子の使用にある。焦点型探触子の使用により超

音波のエネルギーを焦点の位置で絞ることができるため、焦点位置の微細欠陥の検出が可能となる。そこで欠陥検出性能は、焦点のビームが細く長い探触子が良いことになる。焦点のビーム太さ、ビーム長さは、振動子の周波数、振動子径、音響レンズの材質、焦点距離によって決まる¹⁾。以上の理由と、分解能を高める目的で、パルス幅の短いブロードバンド型探触子と呼ばれる探触子を用いている²⁾。この探触子の振動子材料としては、自己減衰率が高く、音響インピーダンスが低いニオブ酸鉛、硫酸リチウム、ジルコン酸鉛などが用いられるが、潮解性、分解能などの点からニオブ酸鉛を採用した。

探触子の性能確認のため、熔融石英をターゲットとして焦点距離を、0.1mmφピアノ線を用いて焦点ビームの太さ・長さを、また鋼球ターゲットを用いて振幅特性をそれぞれ測定した。その結果を Table 2 および Fig. 4~6 に示す。焦点のビーム太さ・長さの実測値は計算値³⁾に近い値を示しており、鋼球からの反射強度は球径とほぼ直線的な関係にあり、周知の近似式⁴⁾ $H_t \cong 0.25 D_t \cdot S/x^2 \lambda$ を裏付けている。

3-3 スキャニング機構

微細欠陥を確実に検出し、かつ得られたデータの処理を正確に行うためには、スキャニング速度と繰り返し周波数との関係が重要である。スキャニング速度の設定法としては、等速法と正弦曲線法の二つが通常考えられる。欠陥の大きさを

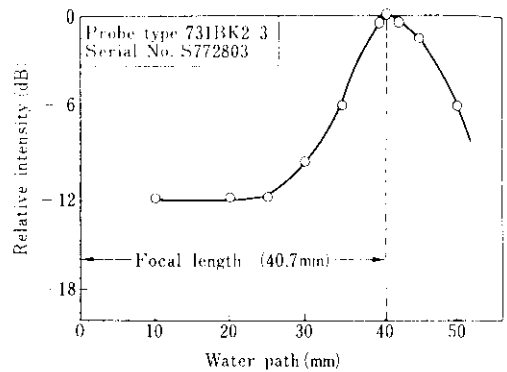


Fig. 4 Distance amplitude curve for search unit in water

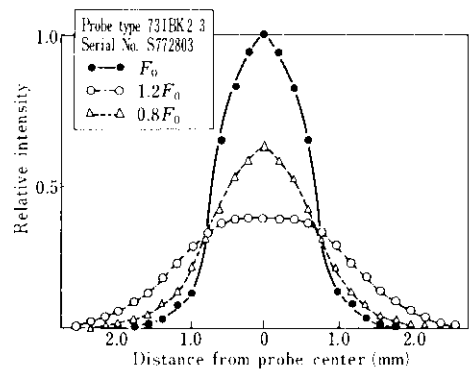


Fig. 5 Typical beam profiles across probe surface

d (mmφ), 繰り返し周波数を f (Hz), 探触子の移動速度を V (mm/s) とし, d に対し 2 回以上の探傷を実施するためには, 等速運動の場合は (1) 式が, 正弦的運動の場合は (2) 式が成立する必要

Table 2 Typical transducer specification

Probe type	731BK2-3	731BK5-2	731BK10-1	731BK15-1
Serial number	S772803	S7763717	S744304A	S74606A
JIS code	2C19.11	5C12.7I	10C6.4I	15C6.4I
Frequency	2MHz	5MHz	10MHz	15MHz
Focus length* (mm)	40.7	19.0	18.7	35.2
Focusing dia.*(d _f) (mm)	2.4 (2.22)	0.8 (0.62)	0.8 (0.61)	1.2 (0.77)
Focal zone length* (L _{fz}) (mm)	6.5mm (7.08)	2.1mm (1.81)	1.7mm (1.87)	2.2mm (2.45)

() Shows a calculated value

* In water

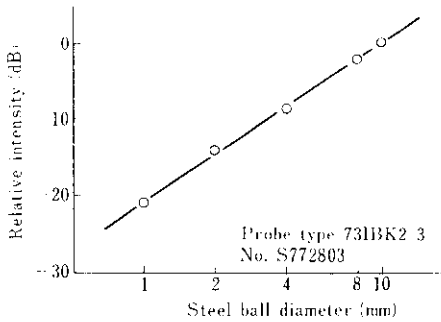


Fig. 6 Reflection intensity in relation with the diameter of steel ball tested

がある。ただし、(2)式の V は、板幅中央に相当する最大速度とする。

$$\frac{d}{2} \geq \frac{V}{f} \dots\dots\dots(1)$$

$$\frac{d}{2} \geq \frac{\pi}{2} \cdot \frac{V}{f} \dots\dots\dots(2)$$

以上の2式から、等速運動の方が繰り返し周波数を低く設定できるという点で有利である。

本装置のスキャン機構は、Fig. 3のブロック図に示したようにデジタル信号によるフィードバックループを形成している。走査範囲および走査速度はセッティング部でセットされ、走査範囲の両端約20mmをそれぞれ増速、減速範囲として走査し、機械的ショックを防止している。またパルスジェネレータからの信号はX-Yプロッタ型記録計に送られ、指定された倍率でプロットされる。走査範囲はセンター振り分けで±25～±175mmのデジタル設定である。

3・4 総合性能

本装置の総合性能を示す例として二、三の結果を以下に示す。Photo. 1は0.2mm幅のスリット欠陥の検出結果である。またPhoto. 2は0.1mmφのピアノ線を探傷したものである。このように探傷条件を限定し被測定物がこの条件に適合すれば0.1mmφの欠陥の検出も可能である。Photo. 3は記録パターンの一例を示すもので、探傷ピッチを0.1mmから2.0mmまで変えて、0.1t×93×60(mm)の市販の鋼製字消し板をBゲートで記録したものである。

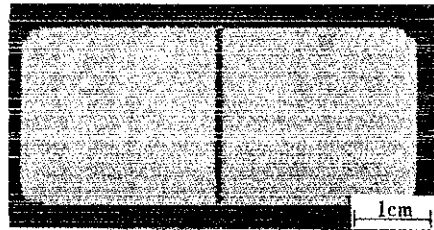


Photo. 1 An example of C scope of 0.2mm slit

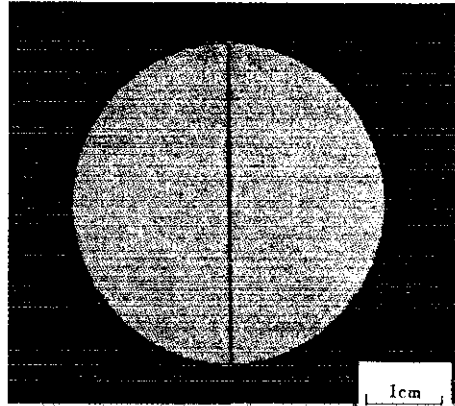


Photo. 2 An example of C-scope of a wire rod 0.1mm in diameter

4. 使用状況

本装置は導入以後、従来の探傷器に比べ微細欠陥が検出可能であること、2次元の記録ができること等の特長を生かして広範囲に使用されている。以下に代表的な使用例をあげる。

4・1 HIC 試験過程での割れ面積率測定

HIC 試験では、浸漬後断面を切断して割れの有無をマイクロ観察することが規格化されている。しかし、マイクロ観察は結果を得るまでに著しく労力と時間を要するので、品質管理的な簡便法として、本装置により割れ面積率を求めることができる。HIC 試験における欠陥面積率と欠陥長さ比の間にはFig. 7のような相関が見られる⁵⁾。

4・2 探傷結果の二、三の例

工用品あるいは実験材の鋼板を超音波探傷して検出した内部欠陥の生因調査過程で、欠陥の位置、

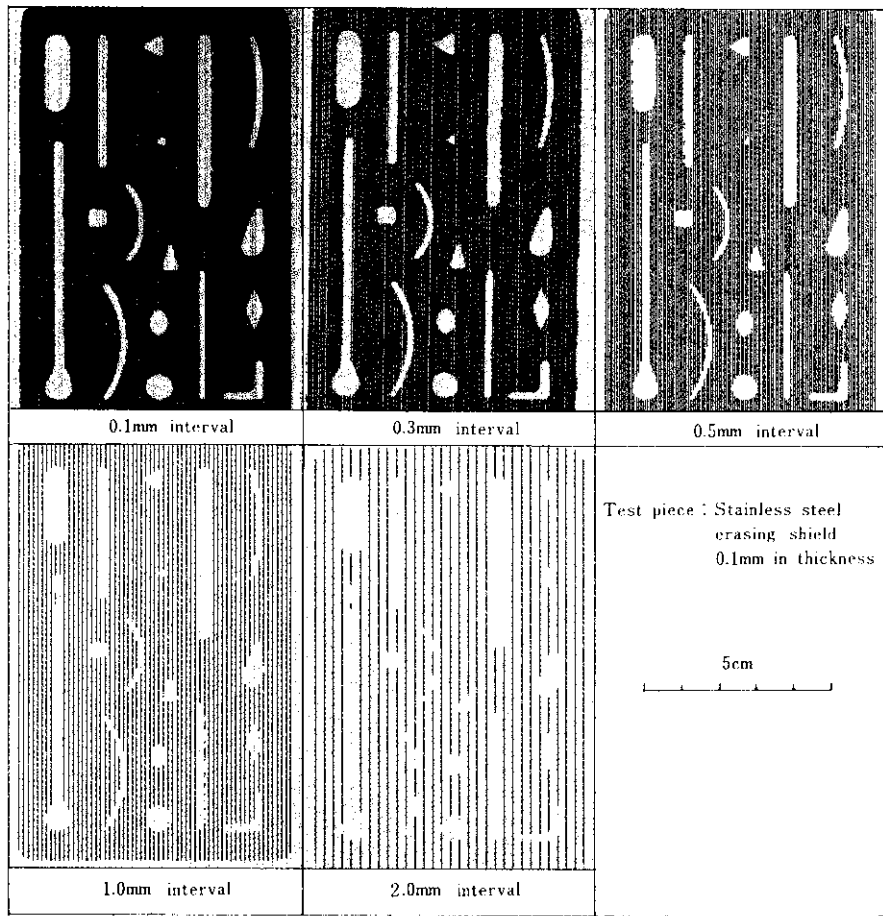


Photo. 3 Typical recording patterns with different scanning intervals

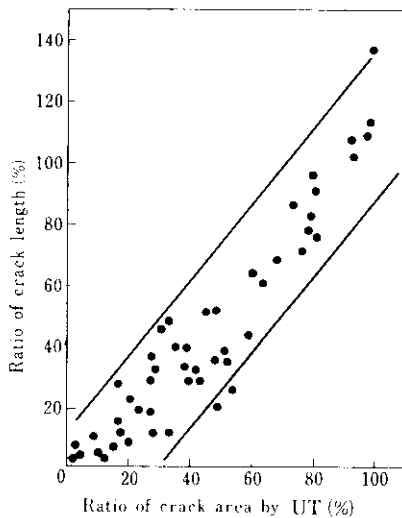


Fig. 7 Relation between ratio of crack length and ratio of crack area by UT

形状、分布を正確に知ることは、次工程作業、すなわち切断位置の決定に有効である。この目的のために使用する場合、従来の手探傷によるスケッチ法と比較して、欠陥位置が直接正確に記録され、代表的欠陥のマイクロサンプリング位置の正確性が向上する。特に微細欠陥が分散している場合に有効である。Photo. 4 は鋼板内にフラックスを巻きこんだ状態を記録したものであり、Photo. 5 は、前述 HIC 試験のサンプルの浸漬試験後の記録例とその A-A 断面の磁気探傷結果を対比させたものである。Photo. 6 は連铸製鋼板内部の偏折程度を層別ゲーティングにより記録したもので、内部欠陥が板厚方向の一定位置に集中していることが分かる。

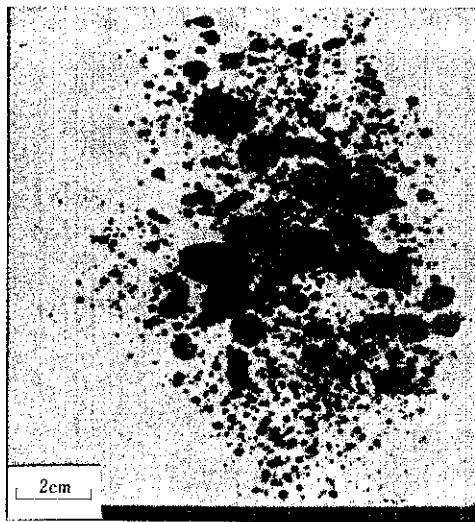
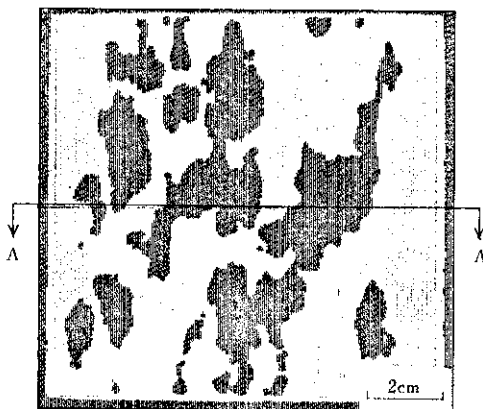


Photo. 4 Typical C-scope of natural defect of slag inclusion type in plane carbon steel plate



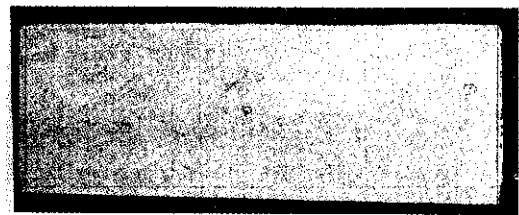
Section A-A (MT)

Photo. 5 Typical C-scope of HIC test piece and crack profile by MT

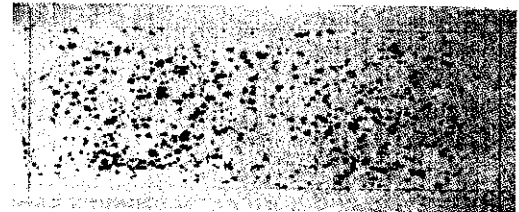
4-3 本装置の今後の応用課題

本装置の特徴を生かした応用分野としては、偏析程度や結晶粒度の測定、丸棒の地疵測定などがある。装置をレベルアップすれば、探傷方向の位置記録、立体的記録、録図、演算も可能である。

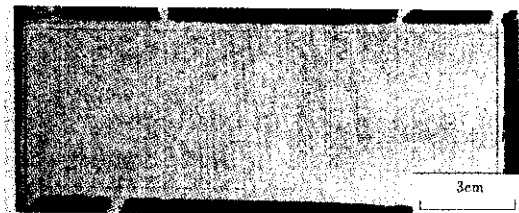
現在、Bスコープ記録と、欠陥面積率の演算機能の追加設計を実施している。



(a) $\frac{1}{4} t \pm 2\text{mm}$ gate



(b) $\frac{1}{2} t \pm 2\text{mm}$ gate



(c) $\frac{3}{4} t \pm 2\text{mm}$ gate

Photo. 6 C-scope with separate gate ($t = 25\text{mm}$)

5. 結 言

製品の高信頼性の品質要求に伴って鋼板の内部欠陥に関しても微細欠陥を確実に検出することが重要になってきた。本報告の水浸Cスキャン超音波探傷装置はこの要求に基づき開発されたもので、0.2mmスリット標準疵を確実に検出する。また表裏面直下の不感帯が小さいため1.0mm厚の薄鋼板まで探傷可能であり、探傷結果の記録も鮮明である。

本装置により、HIC試験や欠陥の切断観察に効果がおおいに現れている。

将来、本装置により計算機へデータを送り、欠陥の分析を自動的に行うことも可能となる。

参 考 文 献

- 1) 日本學術振興會製鋼第19委員會編：超音波探傷法，(1974)，〔日刊工業新聞社〕
- 2) 木村ほか：超音波探傷試験 B，(1978)，48，〔日本非破壊検査協会〕
- 3) 木村，ほか：非破壊検査，(1969) 18，563
- 4) 1) と同じ，P.383
- 5) Y. Nakai, et al: "Development of Steels Resistant to Hydrogen Induced Cracking in Wet Hydrogen Sulfide Environment", Trans. ISIJ, 19 (1979) 7, 401