
棒鋼の自動探傷設備

Automatic Bar Inspection System at Mizushima Works

星島 泰三(Taizo Hoshijima) 青木 光生(Mitsuo Aoki) 宇野 義雄(Yoshio Uno) 森田
博之(Hiroyuki Morita) 下戸 研一(Ken-ichi Orito)

要旨：

要旨：

水島製鉄所の丸棒自動探傷設備は、昭和 52 年 4 月に本格稼働した自動磁気探傷装置、曲がり検査装置、面取り装置、マーキング装置、脱磁機、自動結束機と同一ラインに追加設置され昭和 53 年 7 月に本格稼働した自動超音波探傷装置から構成されている。自動磁気探傷装置は従来の半自動磁粉探傷装置に代わるもので、検査の信頼性の向上、省力、疵程度の定量的把握等を目的とし、西独 Forster 社製の国内第 1 号機である。自動超音波探傷装置も従来の手動探傷に代えて作業を自動化したものである。探触子、機構部、接触媒質供給方法の新しい工夫と開発により、安定した高感度の性能を得ることに成功した。

Synopsis：

Consisting of automatic magnetic testing machine, automatic ultrasonic testing machine, bending inspection machine, deburring machine, color marking machine, demagnetizer and automatic bending machine, the System came into full-scale operation in July 1978 with the addition of the ultrasonic testing machine to the rest which had been in function since April 1977. The System has proved its higher reliability for surface and internal defect inspection and labor saving. The automatic magnetic testing machine is the first of its kind ever introduced into Japan from the Institute Dr. Forster in West Germany and replaced the magnetic particle testing machine formerly used. The automatic ultrasonic testing machine was also added for further improvement in the inspection performance and saving manual labor. Development of probes, soft landing mechanism and stable couplant supply system have also played a significant part in getting reliable performance with higher detectability.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

UDC 620.179.14:62 52
620.179.16:62 52
669.14-442.11

棒鋼の自動探傷設備

Automatic Bar Inspection System at Mizushima Works

星 島 泰 三*

Taizo Hoshijima

青 木 光 生**

Mitsuo Aoki

宇 野 義 雄***

Yoshio Uno

森 田 博 之***

Hiroyuki Morita

下 戸 研 一****

Ken-ichi Orito

Synopsis:

Consisting of automatic magnetic testing machine, automatic ultrasonic testing machine, bending inspection machine, deburring machine, colour marking machine, demagnetizer and automatic bending machine, the System came into full-scale operation in July 1978 with the addition of the ultrasonic testing machine to the rest which had been in function since April 1977. The System has proved its higher reliability for surface and internal defect inspection and labor saving. The automatic magnetic testing machine is the first of its kind ever introduced into Japan from the Institute Dr. Förster in West Germany and replaced the magnetic particle testing machine formerly used. The automatic ultrasonic testing machine was also added for further improvement in the inspection performance and saving manual labor. Development of probes, soft landing mechanism and stable couplant supply system have also played a significant part in getting reliable performance with higher detectability.

1. 緒 言

丸棒鋼の表面および内部欠陥に関する品質向上のためには、製鋼造塊要因および圧延要因の抽出と改善、さらには中間素材の検査と手入れが重要である。また需要家に対する品質保証の点では、

製品段階での表面および内部欠陥の検査が最終関門となる。

まず表面欠陥検査については、従来から磁粉探傷法が広く用いられており、当社水島製鉄所棒鋼工場でも昭和47年の建設以来行われてきた。同方法は欠陥検出能は優れているが、丸棒鋼検査に適用した場合、次のような欠点もあわせ持っている。

* 水島製鉄所条鋼圧延部棒鋼課課長

*** 水島製鉄所システム制御技術室主査（掛長待延）

〔昭和53年1月20日原稿受付〕

** 水島製鉄所条鋼圧延部棒鋼課

**** 水島製鉄所システム制御技術室

- (1) 目視作業が介入するため、検査員間で判定がばらつくほか、同一人でも疲労による経時変化などで検査レベルが不安定である。
- (2) 検査レベル自体を定量的に表現しにくい。
- (3) 多数の検査員を必要とする。
- (4) 作業環境が悪い。

そこで、これらの欠点を解消する新しい探傷方式と装置が国内外で強くのぞまれていた。

近年これに 대응べく漏洩磁束探傷法に類するいくつかの方式と装置が登場してきた¹⁻⁴⁾。当所ではこれらの中から西独Förster社製の自動磁気探傷装置ROTOMAT AC 6.043を選定し、我が国への第1号機として導入を計画した。

次に丸棒製品段階での内部欠陥検査については超音波探傷法が用いられるが、これも従来は手動で実施されてきた。したがって検査員が介入することによる判定のばらつき、作業姿勢の劣悪、処理量の僅少などの欠点があった。そこでここでも自動化を計画し、高検出能で安定な探傷を製品全長にわたって実施し、なおかつ省力も目的とした。

設備の建設にあたっては、上記の磁気探傷と超音波探傷を含む総合的な棒鋼自動探傷設備を目指した。したがって両自動探傷装置のほかに曲がり検出装置、面取装置、疵部マーキング装置、脱磁機、自動結束機を備えた大型設備となっている^{5,6)}。

自動超音波探傷装置を除いては昭和51年7月に据付けが完了し、同年10月より一部工程使用の開始、昭和52年4月より本格稼動に入った。超音波探傷装置関係は同一ライン内に追加設置され、昭和53年7月に本格稼動に入った。いずれも順調に運転されているので、以下に設備仕様、稼動状況等を報告する。

2. 設備の仕様とその特徴

2・1 被検査材の仕様

品種：丸棒鋼（炭素鋼，合金鋼）
 外径：16～80mmφ
 長さ：3 500～7 000mm
 曲がり：Max. 2 mm/m、ただし10mm/全長以内
 端面のバリ：Max. 0.5mm

表面性状：圧延黒皮およびショット面
 温度：Max. 80°C

2・2 設備の概要と被検査材の流れ

自動探傷設備のレイアウトをFig.1に示す。

棒鋼工場精整ヤード内に独立して設置され、給材から結束、集材まで一貫した自動化設備となっており、作業要員は1名である。

設備の動作概要を以下に示す。

- (1) 給材テーブルからはねだされた被検査材は曲がり検出装置で検査され、合格したものが面取装置へ送られる。
- (2) 面取装置により両端のバリを取除かれた被検査材は、探傷ラインへ搬入される。探傷機入側で丸棒表面に水（潤滑剤）を噴霧しながら探傷を開始する。
- (3) Fig.2に示す螺旋状走査軌跡により表面欠陥を探傷し、欠陥検出信号のレベルにより良品、仕掛品、不良品に選別する。選別信号および欠陥信号は、キックアウト装置およびマーキング装置に送られる。
- (4) 欠陥信号は、被検査材の速度と同期したシフトレジスタにより遅延された後、欠陥部真上にスプレーマーキングが行われる。
- (5) 自動超音波探傷装置により直角2方向から内部探傷が行われる。

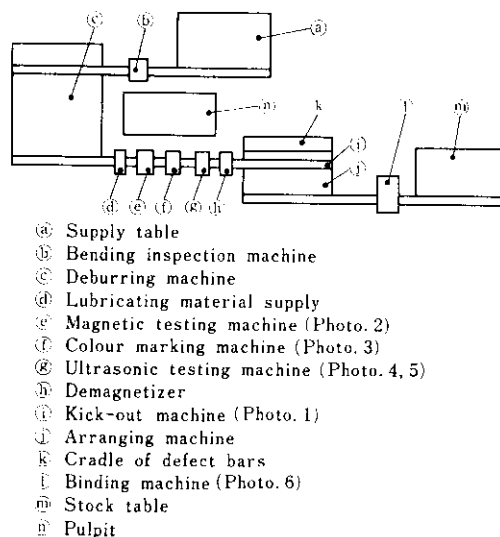


Fig.1 Schematic arrangement of automatic bar inspection equipment

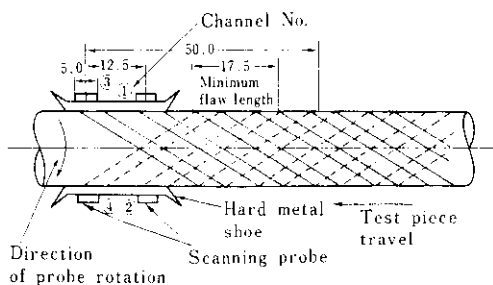


Fig. 2 Probe scanning pattern for surface defect

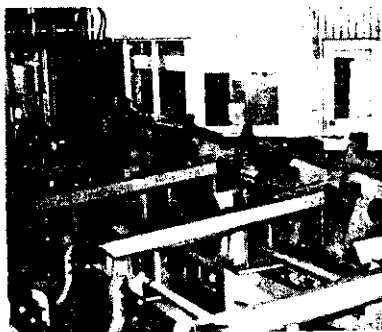


Photo. 1 Kick-out machine

- (6) 被検査材は脱磁機により脱磁される。
- (7) 不良品は選別信号により、キックアウト装置 (Photo. 1 参照) が所定のクレードルにふるい分ける。
- (8) 良品は端面がそろえられ、Uコンベア内に集められる。
- (9) 良品本数が設定値に達すると結束機へ送られ、自動結束が行われる。
- (10) 結束完了後、集材テーブルへ集められる。

2・3 設備の仕様

2・3・1 自動磁気探傷装置 (Photo. 2 参照)

探傷方式：漏洩磁束探傷法

走査方法：材料直進、プローブ回転で、

Fig. 2 に示すようなら旋状走査軌跡を描く。

磁化方法：高周波交流磁化 (10kHz)

ただし、検出条件を整えるため軸方向直流磁化を併用する。こ

れによりノイズレベルが $\frac{1}{3}$ 程度に減少する。

回転周速：Max. 2.0m/s

通棒速度：0.4m/s (外径80mm ϕ) ~ 2.0m/s (外径16mm ϕ)

検出能：0.1mmw $\times$ 0.3mmd $\times$ 17.5mm l
の人工欠陥を100%検出する。

2・3・2 マーキング装置 (Photo. 3 参照)

本装置は、磁気探傷機で検出した欠陥位置の真上にマーキングを施し、手入作業の効率化を図るものである。

方式：12チャンネル自動マーキング (6チャンネルずつの分離方式)。

マーク：速乾油性白色塗料をエアで吹付ける。一つの欠陥信号で幅10~13mm, 可能最小長さ50mm。

2・3・3 脱磁機

磁気探傷機において加えた軸方向直流磁化による残留磁気を消去させる。

型式：交直重畳型

性能：残留漏洩磁束密度はMax. 30G (丸

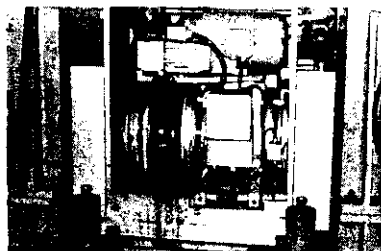


Photo. 2 Magnetic testing machine (rotating head of ROTOMAT AC 6.043)

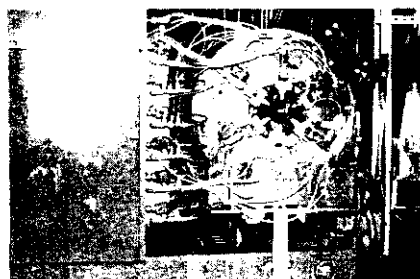


Photo. 3 Colour marking machine

棒端面の角部で事務用クリップが
付着しない程度)

2・3・4 自動超音波探傷装置 (Photo.4,5参照)

探傷方式：分割型探触子による水浸水膜接
触法

探傷方向：丸棒断面の直角2方向より探傷

対象材径：30～90mm ϕ

通棒速度：Max.0.8m/s

先後端不感帯：30～80mm

使用水量：150l/min

2・3・5 自動結束機 (Photo.6参照)

本装置は、結束テーブルによって搬送されてく
る丸棒鋼を2箇所を円形に整形した後、所定の間
隔で結束を行うものである。

被結束材の曲がり：Max. 5mm/m ,
50mm/全長

結束径：Max.350mm ϕ , Min.200mm ϕ

単 重：2000～3000kg/束

ストラップ：1.0mm t $\times$ 32mm w

結束時間：15s/1条結束



Photo. 4 Ultrasonic testing machine (side view)

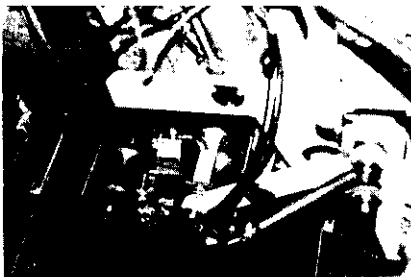


Photo. 5 Ultrasonic testing machine
(guide roller and probe)

引 締 力：Max.1400kg

2・4 処理能力

代表的な丸棒サイズにおける処理量を Table 1
に示す。径が大きくなるほど処理量は増大する。
当棒鋼工場のサイズ構成の場合 6000～7000
t/monthである。

3. 磁気探傷装置

本装置は、漏洩磁束により欠陥を検出するもの
であり、検出用交流磁化に最適周波数を使用し棒
鋼軸方向に直流磁化を付加することによりノイズ
レベルを減少させ、S/N比を改善している。

装置は、探傷ヘッド部、操作デスク、制御部か
ら構成され、前後装置、マーキング装置と信号授

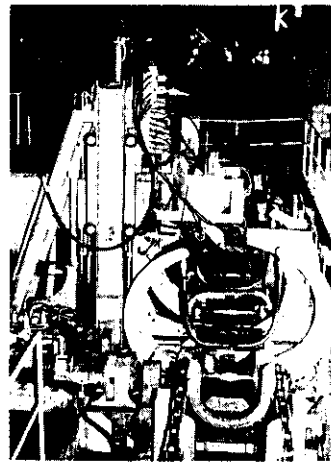


Photo. 6 Binding machine

Table 1 The throughput capacity of ROTOMAT
AC 6.043

Diameter of round bar (mm)	Running speed (m/s)	Detecting cycle (s)	Quantity of round bar detected	
			Count (pieces/h)	Weight (t/h)
30	0.80	9.8	370	11.3
40	0.60	13.0	280	15.2
50	0.48	16.3	220	18.6
60	0.40	19.5	190	23.2
70	0.34	22.9	160	26.6
80	0.30	26.0	140	30.4

This capacity has been calculated for testing at 2.3m intervals between 5.5m long test pieces with peripheral speed of 1.5m/s

受を行っている (Fig.3 参照)。

3・1 探傷ヘッド部

Fig.4に示すように3点ローラ、3相交流モータ、回転ヘッド、プローブアーム、直流磁化コイルにより構成されている。

3点ローラは、ヘッド入側、出側で丸棒を支持する。モータはプローブアームを回転させ、丸棒径により回転数の変更が可能である。2本のプローブアームは先端に、それぞれ Fig.5 に示すプローブ2個、交流磁化コイル1個がついており、丸棒表面にハードメタルを介して接触し回転している。

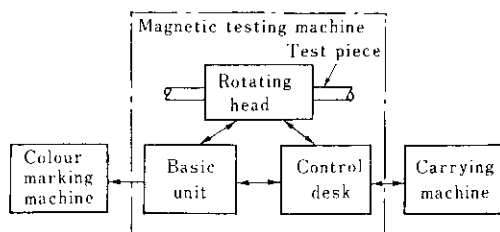


Fig. 3 Connection diagram in and around magnetic testing machine

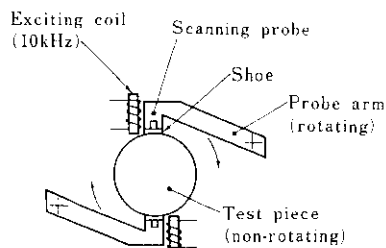


Fig. 5 Schema of rotating probe arms of magnetic testing machine

丸棒は交流磁化コイルにより局部的に磁化され、プローブが欠陥部の漏洩磁束を検出する。

3・2 制御部

制御ブロック図を Fig. 6 に示す。疵の検出は交流磁化コイルとプローブで行い、被検査材の速度は探傷機入側の光電管2個をさえぎる時間間隔から算出する。プローブの回転数と欠陥の周方向位置の検出は、ホール素子と回転ヘッドに埋め込んだ12個の永久磁石により行う。

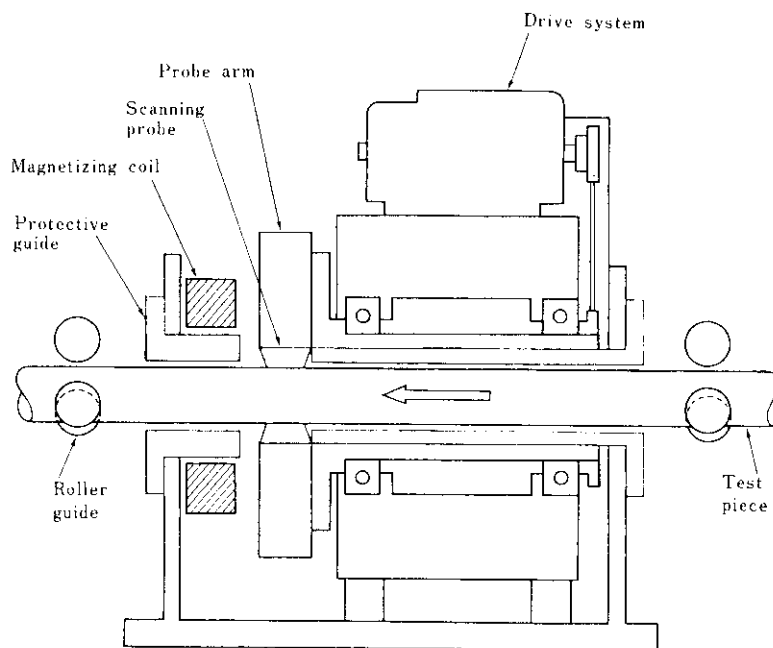


Fig. 4 Sectional view of rotating head of magnetic testing machine

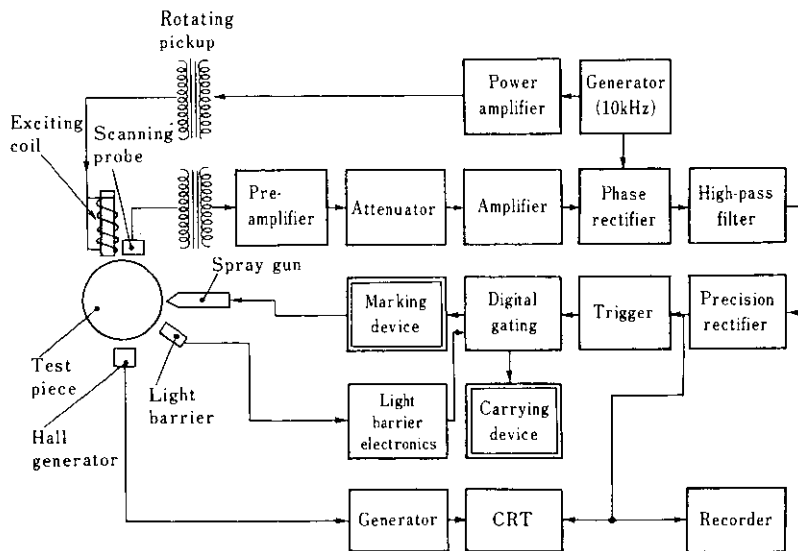


Fig. 6 Block diagram for control of magnetic testing machine

3.3 欠陥検出能

3.3.1 標準疵によるプローブの感度調整

0.1mm ϕ ×0.3mm d ×17.5mm l の標準疵を採傷したときのS/N比は6以上である。プローブの回転周速が一定の場合、他の設定条件が同じであれば径によらず欠陥検出レベルは一定である。したがって、この標準疵により4個のプローブの感度調整を行えば、丸棒の直径によらず同一感度で採傷が可能である。

3.3.2 人工欠陥材による装置の最適条件の設定

装置の動的な採傷能力および装置の最適設定条件を調べるため、ビレットに180°はなした2方向より3mm ϕ のドリル穴をあけ、それを圧延したものを使用した。その結果、欠陥を高いS/Nで検出しており、装置の設定条件等についても最適な値を定めることができた。

3.3.3 自然欠陥材の採傷

磁粉採傷装置で採傷し、あらかじめ欠陥位置をチェックしたものについて実験を行った。

その結果の一例をFig.7に示す。また欠陥深さと検出信号の関係をFig.8に示す。径の小さな丸

棒の疵は同一深さの人工的な標準疵に比べ、検出信号が約1/2に減少している。また、丸棒径が大きくなるほど同一深さの疵でも検出レベルが大きくなる傾向があるが、これは径が大きくなるほど疵の幅が大きくなり、標準疵の形状に近づくためと考えられる。0.3mm深さの自然欠陥のS/N比は3以上となっており、本装置では、磁粉採傷装置で見つけにくいへゲや長さが短く深い疵でも容易に見つけることができる。

3.4 稼動状況

丸棒各径についての疵深さ対検出信号のデータをもとにして、0.3mm深さの自然欠陥を検出するための設定条件をTable 2のように定めて操作を行っている。後述するように、プローブと丸棒表面の接触状態に起因する各種の問題が高感度を維持するための最大の障害であったが、順次対策を施し改善した。本設備による採傷量の推移をFig.9に示す。

3.5 問題点と対策

本装置のように接触回転式のプローブを持つものでは、プローブと丸棒との接触状態が感度を左右し、密着している場合は感度が高く、浮き上が

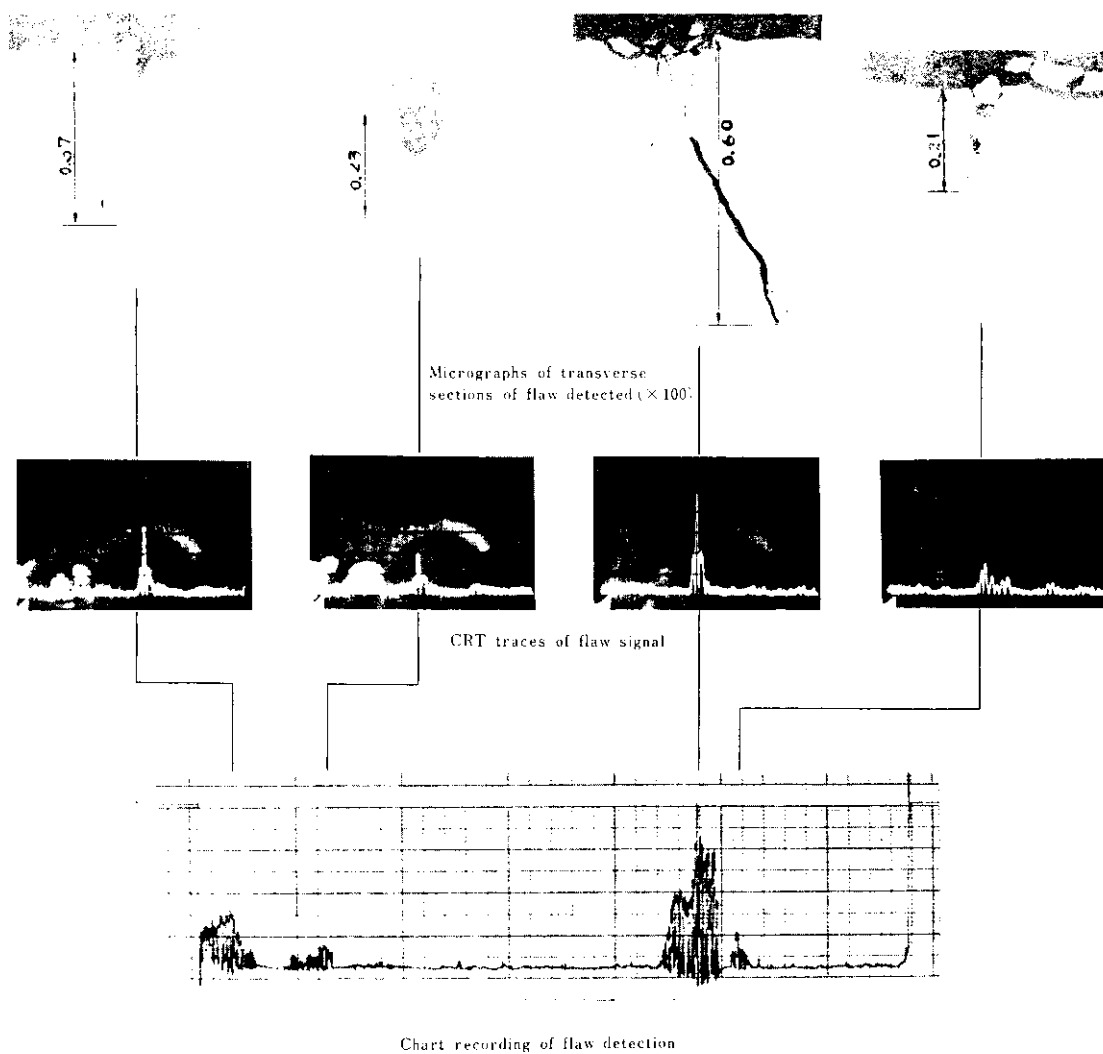


Fig.7 Detected result examples of surface defects on 42mm round bar

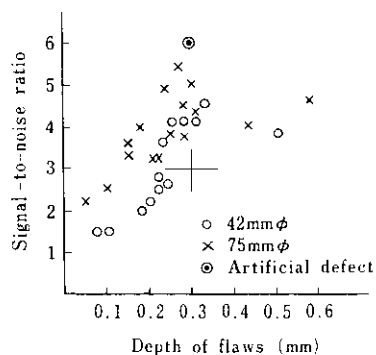


Fig.8 Relation on natural defects between depth of flaws and their signal-to-noise ratio

Table 2 Necessary conditions of ROTOMAT AC 6.043 for detecting natural defects of 0.3mm depth

Diameter (mm ϕ)	Sensitivity (dB)	Trigger (%)	Magnetizing current (A)	Untested length (mm)
30 ~ 34	21	30	0.3	100
35 ~ 44	22	"	0.4	"
45 ~ 54	"	"	0.5	"
55 ~ 64	23	"	0.6	"
65 ~ 80	24	"	"	"
42mm ϕ artificial defect	22	60	0.4	"

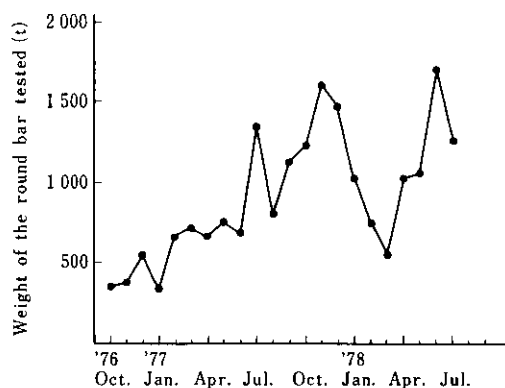


Fig. 9 Monthly change of the amount of the round bar tested by the magnetic testing machine

ると感度が低下する。

この現象を簡単な振動系モデルで解析すると、探傷面とプローブの接触状態は探傷速度とプローブの質量とに関係があることがわかる。そこでプローブアームのバランスウエイトの微調整その他を実施し、回転周速2.0m/sまで滑らかな接触状態と安定した感度がとが得られるようになった。

また探傷プローブに振動や衝撃が加わるとノイズが発生するが、滑らかな接触状態はこのノイズの減少にも有効である。

4. マーキング装置

欠陥の真上にカラーマーキングする本装置は、ノズルの詰まり、電磁弁の作動不良等により生ずるマーキングミスをなくすため以下の対策を行っている。

(1) ノズル詰まり防止対策

塗料濃度の均一化とノズルおよび配管内での塗料の固着を防ぐため、タンク内で塗料を攪拌し圧送ポンプによる循環を実施している。これらにより、ノズル先端部まで常に新しい塗料が供給できるので、固着によるノズル詰まり、濃度むらによるマーク不良を完全に解決した。さらに、マーキングをした場合、その丸棒尾端がマーキング装置を通過した直後に、使用ノズルの塗料噴出部およびキャップをシンナーで洗浄することにより、ノズル先端部を常に清浄に維持し、ノズル詰まりおよびマーク不良の防止をより確実にしている。

(2) 電磁弁の作動不良対策

作業開始前に必ず全チャンネルのノズルを作動させ、マーキング状態をチェックしており、不良ノズルがあれば調整を行っている。しかも作業中の作動不良を考慮して、同一欠陥信号で隣り合う二つのノズルを同時に作動させており、マーキングの確実性を高めている。

5. 自動超音波探傷装置

本装置は、昭和53年1月に自動磁気探傷装置と同一探傷ラインに追加設置された。探触子と丸棒の接触状況の調整、探触子の改造などによって欠陥検出能の向上を図り、自然欠陥についてC断面での寸法で0.1mm以上のものを安定して検出することが可能となった。検出した非金属介在物欠陥の例をFig.10に示す。

計画当初の問題としては次のものがあつた。

- (1) 高速、連続探傷するための機構
- (2) 水膜の安定性
- (3) 表面不感帯の減少

これらは、以下の対策をとることによりほぼ満足できる結果が得られている。

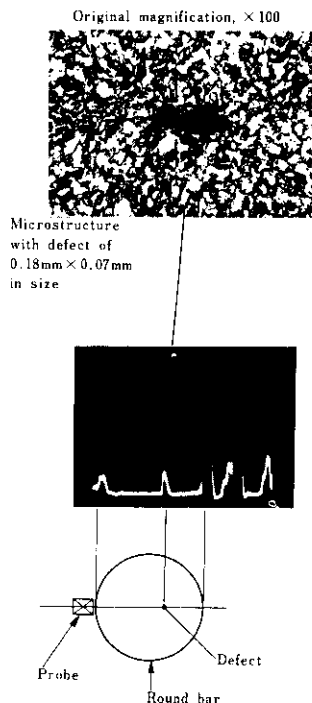


Fig. 10 An example of detected inclusion in a 55mm round bar by ultrasonic testing machine

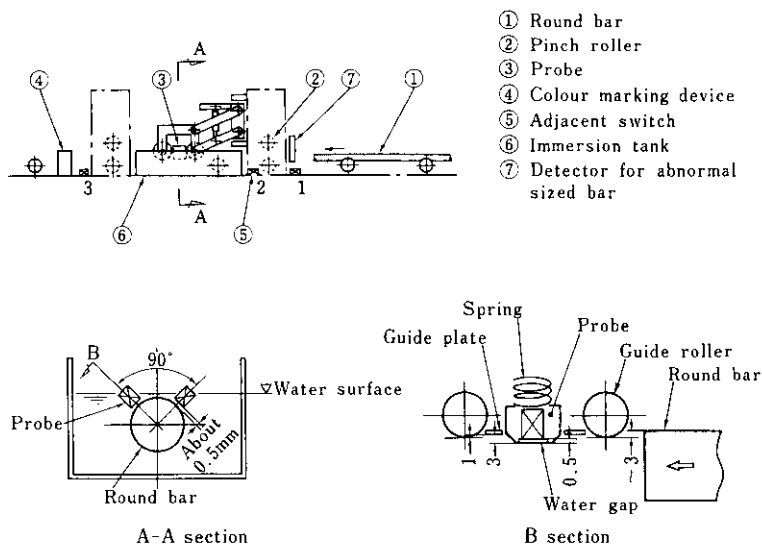


Fig. 11 Schema of automatic ultrasonic testing machine

5.1 機構部

探傷装置の概略構成をFig. 11に示す。探傷開始前の準備作業として、Fig. 11に示すガイドローラの下面が丸棒上面の約3mm下方になるように、機構部のレベル設定および探触子の丸棒径に対する調整を行う。

丸棒が進入してくると丸棒によりガイドローラが押し上げられ、機構部全体が丸棒の上に乗り上がる状態となる。

また、近接スイッチ1, 2 (Fig. 11 参照) が順次作動し、設定時間遅延後、探触子が下降して丸棒表面に接し探傷を開始する。下降した探触子はスプリングにより丸棒表面に押しつけられ、丸棒の上下、左右方向の変動に追従する。

以上の方式を採用することにより、高速でも先後端不感帯が極端に短くなった。

5.2 水膜の安定

水膜接触式の場合、探触子側から水を供給するのが一般的であるが、本装置では、丸棒が水槽に没しながら通過する水浸法の併用により、水膜をきわめて安定化させることができた。必要水量の減少のために水を探傷部直下より噴き上げる方法を取り、最大径の丸棒でも少ない水量で水膜の安定を得ることができた。

5.3 表面不感帯の減少

分割型探触子の採用により、表面エコーは1探触子法に比べて小さいが、高感度の使用条件下では当初は水膜部による遅れエコーが欠陥ゲートにかかり、探傷範囲を狭めていた。

探触子改造等の対策によって、現在では表面不感帯15mm範囲外でC断面寸法0.1mm以上の内部自然欠陥が確実に検出可能なレベルとなった。

6. 結 言

丸棒製品の品質保証レベルの向上と精整職オペレータの省力とを目的として、総合自動探傷設備を設置した。

磁気探傷装置を含む表面探傷、結束、搬送設備については昭和52年4月より、また追加設置の超音波探傷装置については昭和53年7月より本格的な使用が開始され、順調な立ち上がりであった。現在、若干の疑似欠陥信号の発生はあるが、満足のできる稼動状況である。

この種のオンライン非破壊検査装置は、長期間の性能維持が特に重要であり、その意味で今後保守技術の確立に努める所存である。また、欠陥検出能をさらに向上させ、疑似欠陥信号をより減少させる諸対策にも並行して取組んで行く。これら

の努力の継続により、丸棒製品のいっそうの品質向上がもたらされるものと確信している。

参 考 文 献

- 1) 住友金属工業(株)中央技術研究所：日本鉄鋼協会共同研究会第53回計測部会資料 計53-6-4, (1973)
- 2) 白岩ほか：住友金属, 22 (1970) 3, 3
- 3) 白岩ほか：住友金属, 27 (1975) 3, 117
- 4) 前田：非破壊検査, 26 (1977) 6, 423
- 5) 川崎製鉄(株)水島製鉄所：日本鉄鋼協会共同研究会第64回計測部会資料 計64-5-3, (1976)
- 6) 川崎製鉄(株)水島製鉄所：日本非破壊検査協会第3分科会資料 NDI3538, (1976)

