



鋼片および棒鋼・線材表面探傷システム

小堺 和泉*・多田 隆良*・平田 宗興*²・亀井 英明*・油谷 憲治*・中田 浩司*

Surface Inspection System for Billets, Bars and Wire Rods

Izumi KOSAKAI, Takayoshi TADA, Muneaki HIRATA, Hideaki KAMEI, Kenji ABURATANI and Hiroshi NAKATA

Synopsis : Various automatic surface inspection systems for bars and wire rods have been developed and installed by steel makers and wire makers to meet severe requirements for the surface quality.

This paper describes the current and future technologies for automatic surface inspection systems for billets, bars, wire rods and wires.

This paper also describes the recent modification of an automatic inspection system for square billets using Magnetic-particle Testing in Kobe Works, to improve the detection rate of short surface flaws. By using the latest image processing devices, short surface flaws with the length of 10mm and the depth of 0.3mm can be detected.

Key words : nondestructive inspection ; surface inspection system ; bar and wire rod ; billet ; Magnetic-particle Testing ; image processing.

1. 緒言

近年、高級線材・棒鋼に対するユーザの要求品質水準が非常に高くなっている。これは、線材・棒鋼が鋼板・鋼管と異なり、最終製品としてそのまま使用されることは極めて少なく、2次・3次加工メーカーで多くの加工工程を経て最終製品となるからである。特に自動車産業において駆動装置部品・足廻り部品の素材として用いられる条鋼に要求される品質保証レベルは、他用途と比べて極めて厳しい。さらに、加工方法においては、コストダウン・省エネルギーの観点から、従来の熱間鍛造から切削加工の簡略化ができる冷間鍛造への転換や熱処理工程の省略が進められている。

このため近年、素材メーカーのみならず2次加工メーカーは各種の高精度・高能率の自動探傷設備の開発・導入を積極的に推進し、検査保証精度の向上と検査部門の合理化を図ってきた。特に、表面きず官能検査の代表である磁粉探傷(MT)は、肉眼によってきずの有無や程度を判断する検査であるため、肉体的疲労・個人差により安定した検査精度の維持・管理が難しく、また、処理能力が低いという問題があり、各社が自動磁粉探傷装置の開発・導入に取り組んでいる。

本報では、線材・棒鋼の素材である鋼片から線材・棒鋼および2次加工された鋼線・磨棒鋼の表面探傷技術の現状と最近の動向および今後の課題について述べる。

また、自動磁粉探傷技術の例として、当社で稼働中の角

鋼片自動磁粉探傷装置の性能改善状況についても述べる。

2. 棒鋼・線材の表面探傷技術の現状と最近の動向

2・1 鋼片の表面探傷技術

鋼片段階での表面きずの検査の目的は、①素材でのきず手入れによる製品表面品質の向上、②棒鋼手入れの軽減である。特に、線材は製品圧延後の全長保証検査が困難であるため、鋼片段階で入念な検査・手入れが実施される。

鋼片の表面探傷の自動化の例としてはFig. 1に示すように国内では、①蛍光磁粉探傷できずの磁粉模様をITVカメラでとらえる画像処理方式¹⁾²⁾、②きずからの漏洩磁束をセンサでとらえる漏洩磁束探傷(MFLT)³⁾、③表面波を用いた超音波探傷(UT)⁴⁾、④赤外線探傷、さらに海外では⑤漏洩磁束探傷の録磁方式、⑥磁粉探傷の固着磁粉方式とバリエーションはあるが、棒鋼と比較するとまだ目視による磁粉探傷が主流で自動化は遅れている。その原因のひとつは、鋼片は素材であり製品である棒鋼に比べ表面肌・形状が悪く、一般にノイズレベルが高いこと、センサ接触型ではセンサの追従性が劣り十分な検出性能が得にくいことがあげられる。また、どの方式においても角鋼片の場合にはコーナ部のきずの検出精度の向上が共通の課題である。

2・2 棒鋼の表面探傷技術

棒鋼の分野では磁粉探傷に代わる探傷法として漏洩磁束

平成4年11月13日受付 平成5年4月9日受理 (Received on Nov. 13, 1992 ; Accepted on Apr. 9, 1993)

* (株)神戸製鋼所神戸製鉄所 (Kobe Works, Kobe Steel, Ltd., 2 Nadahamahigashimachi Nada-ku Kobe 657)

* 2 (株)神戸製鋼所加古川製鉄所 (Kakogawa Works, Kobe Steel, Ltd.)

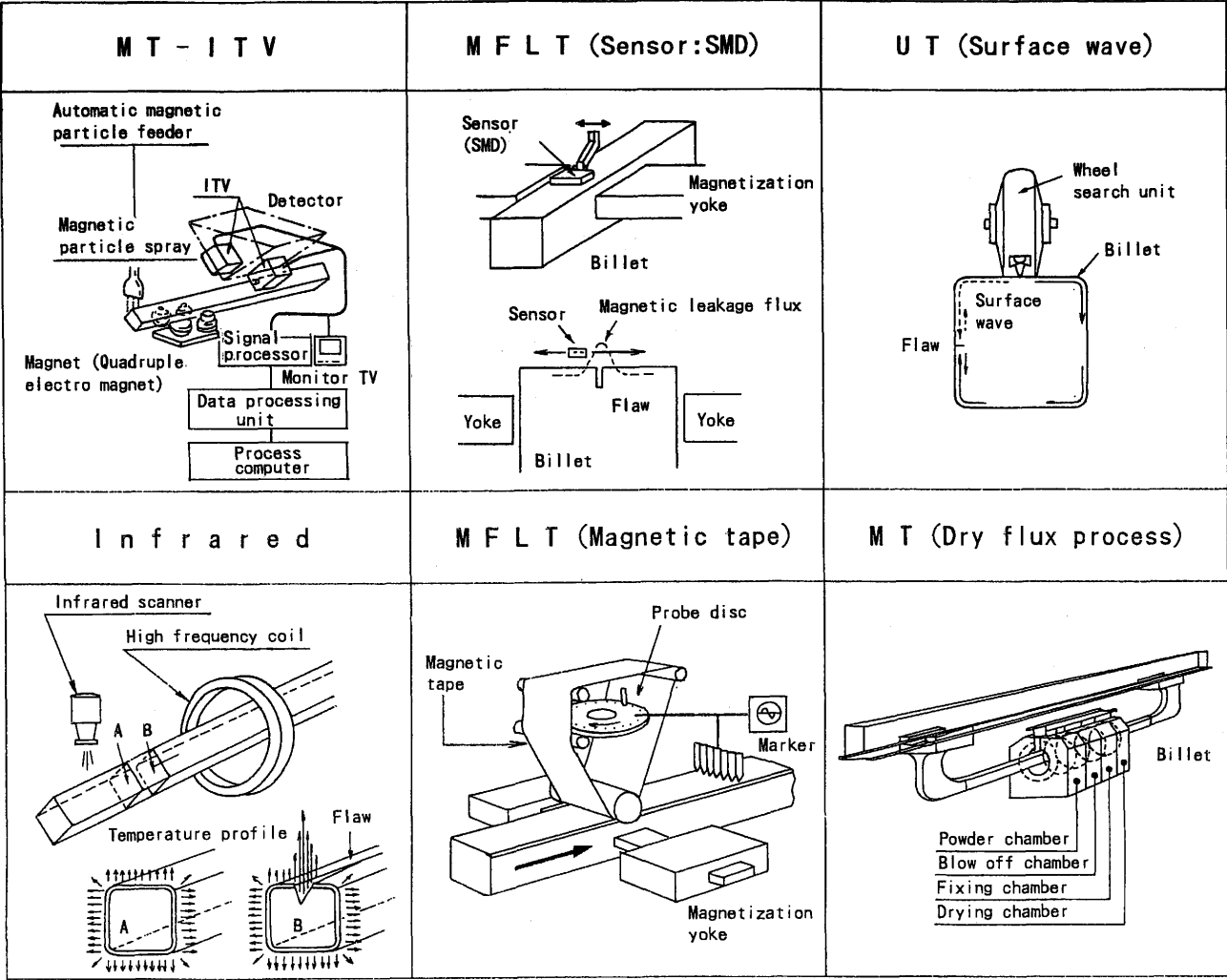


Fig. 1. Type of surface flaw detector for billets.

探傷の自動機器が導入され、品質保証の信頼性・生産性は大きく向上した。漏洩磁束探傷装置の探傷走査方式としては、被検材直進・センサ回転型のものが主流となってきているが、太径材に対しては回転機構が大型化するため被検材回転・センサ直進型のものがある (Fig. 2)。

漏洩磁束探傷装置による表面きず保証レベルは当初深さ 0.3mm 程度であり、0.1~0.2mm 保証が要求されるものについては、従来の磁粉探傷が適用されていた。しかし近年、励磁電圧のパワーアップ、センサの高性能化等の改良が加えられ、自動探傷による 0.15~0.2mm 保証が可能となっている。また、最近ではきずの磁粉模様を CCD カメラでとらえ画像処理を行う全自動の磁粉探傷装置も開発実用化されている⁵⁾。

今後の課題としては、圧着きずの検出性能の向上と磁粉探傷に代わる 0.1mm レベルの微細きず保証が可能な自動探傷装置の開発である。

2・3 線材の表面探傷技術

線材やバーインコイルは熱間圧延後に巻き取られコイルとなるため、製品での全長検査が困難であり、鋼片段階で

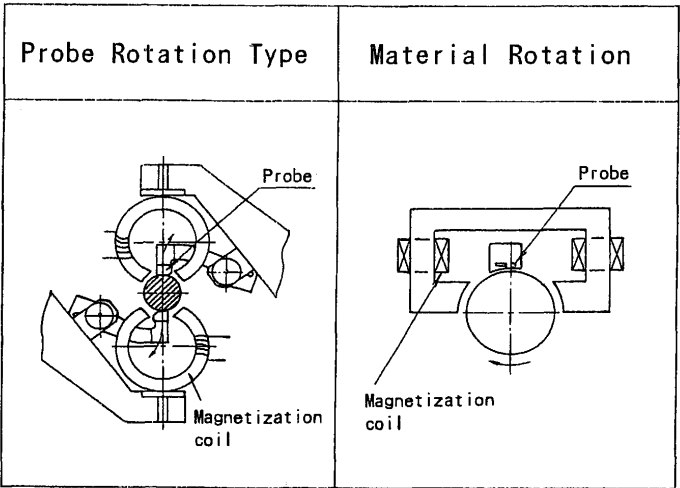


Fig. 2. Type of MFLT equipment for bars.

の表面探傷に重点がおかれている。一方、工程管理の観点から製品圧延工程で発生するへげきず・ロールマークといった単独きずの検出のため、古くから貫通コイル方式の熱間での渦流探傷 (ET) が実用化されている。

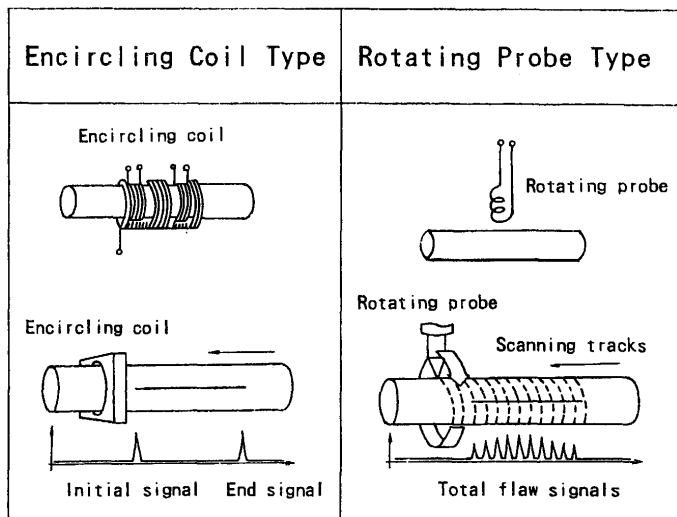


Fig. 3. Type of eddy current testing.

この方式は自己比較方式が一般的であり、線状きずはその対象とならないが、きず信号レベルの積算によって単独きず以外の線状きずの情報を得ようとする試みや、最近では線状きずも積極的に検出するためにプローブ回転方式と組み合わせた探傷装置を設置し、線材の全長表面きず保証をしようとしている例⁶⁾もある (Fig. 3)。また最近では、圧延後の水冷帯出側でのきず部の温度変化を放射温度計でとらえる探傷装置も開発実用化されている⁷⁾。

ただ、コイル状になった線材の全長ばらしチェックや手入れは事実上不可能であり、熱間でのきずマーキングおよ

び探傷データの後工程へのフィードフォワードによるきずの除去方法の確立が今後の課題である。

2・4 鋼線・磨棒鋼の表面探傷技術

線材・棒鋼は、鉄筋等一部の用途を除いて大部分のものは引抜き、鍛造切削等の加工が施され最終製品となる。鋼線・磨棒鋼は、伸線あるいは引抜きにより加工された製品で、特に表面きずに対する品質要求の厳しいものについては、加工途中あるいは加工後に主として渦流探傷にて、表面きず検査が行われる。

最近の傾向としては、検査の自動化・省力化、歩留り向上を目的に探傷のインライン化と自動選別・自動きず取りとのリンケージ化が、また検出性能の向上を目的に信号処理等の周辺技術の開発も活発に行われ、活用されている。

Fig. 4⁸⁾は冷間圧造用線材の主な表面きず保証方法をまとめたもので、①圧造後の部品を部品探傷機で検出する方式、②冷間圧造機の直前で渦流探傷(回転プローブ型)を行い、圧延後に不良品を自動排除する方式、③仕上伸線工程で渦流探傷を行い、次の冷間圧延工程できずマーク部を検出し圧造後にマーク部に該当する部品を自動排除する方式、④伸線工程できず見・きず取りする方法の4方式に大別される。冷間圧造時に発生する素材きずに起因する割れは、これらの方法によって高い精度で保証できるようになっている。

今後の課題としては、製造技術の進歩に伴う高速探傷への対応と、2次加工は製造ライン数が多いので探傷装置の低コスト化である。

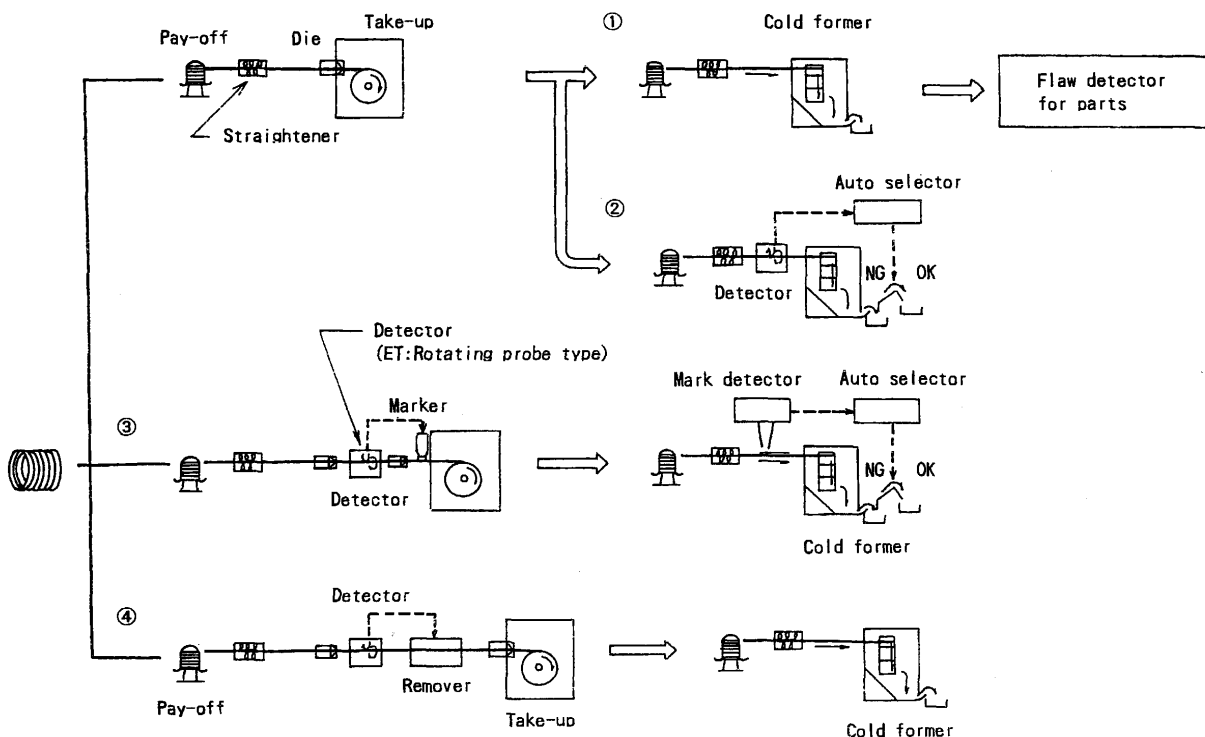


Fig. 4. Surface quality assurance systems for cold forged products.

3. 角鋼片自動磁粉探傷装置

3・1 経緯

本装置は蛍光磁粉模様をITVカメラでとらえる画像処理方式のもので、永年の研究開発を経て当所に設置され1983年より順調に稼働している¹⁾。
しかし、ユーザの製品品質に対する要求は、建設当初とは比較にならない程厳格化してきているため、鋼片段階における自動磁粉探傷装置による表面きず検出能力の向上が、品質保証体制を確立する上で重要となった。また鋼片加工

工場の省力を目的とした処理能力の向上、すなわち自動磁粉探傷における搬送速度向上が要求され、その中で現状レベル以上のより短い表面きずの検出性能を有する探傷装置が必要となった。
このため、短いきずの検出率を向上させるため自動磁粉探傷装置の中で画像処理装置および撮像装置の改善を、1991年に実施した。

3・2 自動磁粉探傷装置の構成

本装置の構成をFig. 5に示す。
ショットブラストによりスケールオフされた鋼片に、蛍

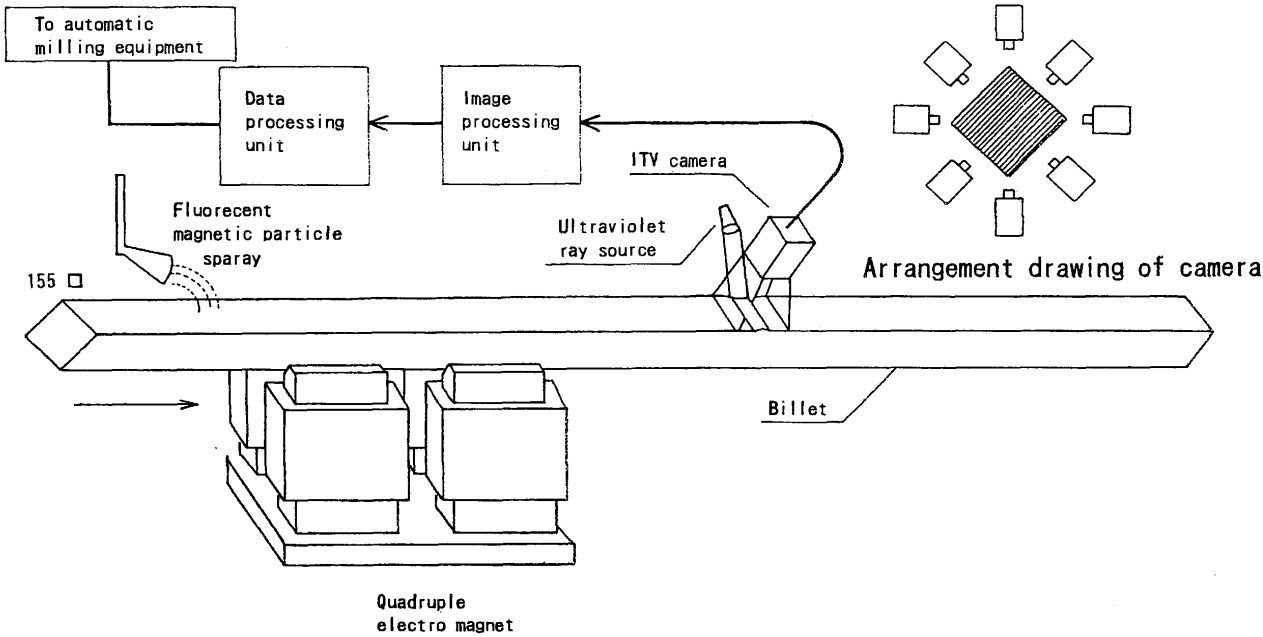


Fig. 5. Constitution of automatic magnetic particle inspection system.

Table 1. Specifications of Image processing unit.

	Item		Specification
1	Video input	Video signal Number of scanning lines Field frequency A/D clock Quantization/field	RS-170 (1V _{P-P} 75Ω) 525 lines 60Hz 16MHz 432H×240V×8 bit
2	Image memory	Capacity Input/output speed	482H×240V×8 bit×4 sets 77 ns/pixel
3	Flaw detection processing	Processing speed Processing area Correction pattern memory Horizontal difference Vertical difference Differential data degeneracy Line segment extraction Classification of depth Flaw data memory	1/60 (s) 287 lines 432H×8 bit×8 types Calculation between pixel (two types) -ditto- Both 4×4 and 2×2 degeneracy are executed for every field Adding 7 degeneracy data in 8 directions (calculation of 10,000 times) 7 added values are classified into 2 bits. 108H×5 bit (depth and flaw direction)
4	Video output	Output signal Number of scanning lines D/A sample clock Number of displayed pixel	RS-170 (1V _{P-P} 75Ω) 525 lines 12.138MHz (8 bit D/A) 640H×480V
5	Overall control	Processor Program memory	80286 (8 MHz) ROM 16Kb ; RAM 2 Mb

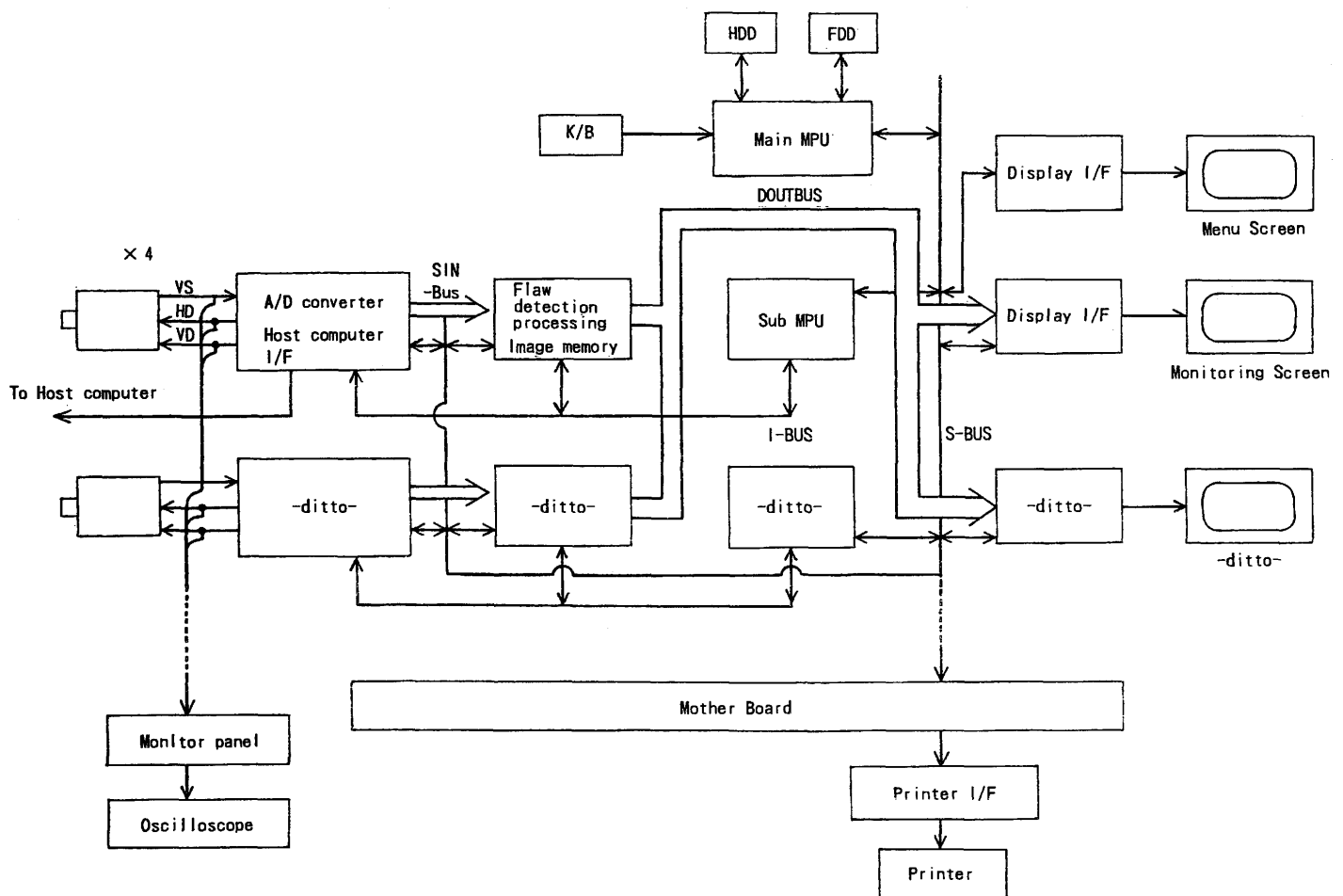


Fig. 6. Hardware configuration of image processing unit.

光磁粉液を散布する。この鋼片を4極極間マグネットで形成される回転磁界で磁化することにより、表面きず部に漏洩磁束が生じ蛍光磁粉が付着する。

蛍光磁粉は紫外光源の照射により可視光を発光するので、これをきず信号としてITVを用いて撮像し、画像処理装置へ送る。

画像処理装置はきず信号のパターン認識を行い、きずデータをデータ処理装置へ伝送する。自動きず取り装置はデータ処理装置で作成したきずマップを用いてきず取りを行う。

3・3 画像処理装置

本画像処理装置は画像入力、きず検出処理、モニタ表示を4枚の画像メモリを用いてパイプライン処理を行い、フィールドレート(1/60s)での高速画像処理を実現している。Table 1に画像処理装置詳細仕様を、Fig. 6にブロック図を示す。画像処理装置は平面、コーナ各4チャンネルずつ、計8チャンネルで構成されている。

画像処理アルゴリズム(Fig. 7)は、最初のシェーディング補正後に水平(鋼片幅方向)・垂直(同長手方向)に対しきず信号が急峻な立ち上がりを持つという性質に着目し、その特徴を抽出できるよう差分処理を行う。その後、データ圧

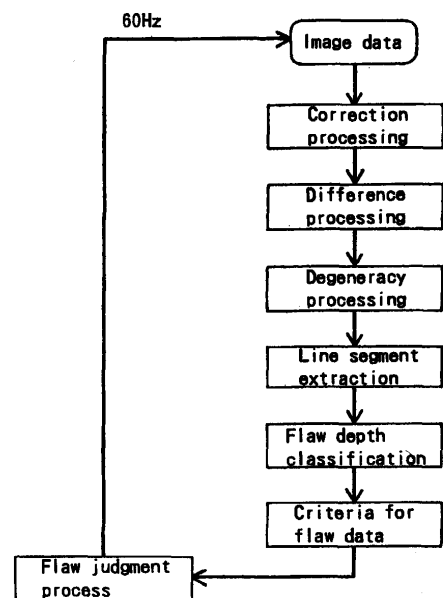


Fig. 7. Flow of image Processing.

縮およびきず信号の画素位置のずれの吸収を目的として、水平・垂直の各差分データの近傍4×4個または2×2個のピーク値を求める縮退処理を行う。さらにあらゆる方向

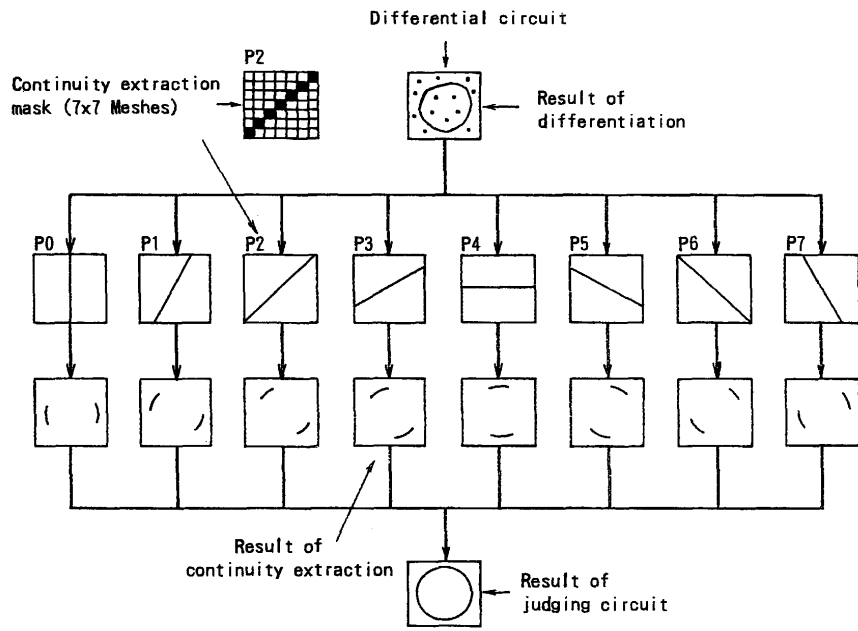


Fig. 8. Description of digital filtering method how each pattern is distinguished by continuity.

	4 x 4 degeneracy	2 x 2 degeneracy	Description
Flaw length exceeding flaw detection area			7- added values of both differential degeneracy date is nearly same or is higher for 4 x 4.
Flaw length about 1/2 the flaw detection area			7- added values of differential date of 4x4 degeneracy is about 1/2 that of 2x2 degeneracy.

Fig. 9. Characteristics of 4×4 degeneracy and 2×2 degeneracy.

のきずを検出するために、縮退後の差分ピーク値を8種の方向に近傍連続7個積算し線分抽出を行い(Fig. 8), 全ての積算データ個々についてあらかじめ設定されている判定レベル(閾値)に基づききず判定を行う。

本装置は従来の機能だけでなく、短いきずの検出精度の向上、メンテナンスおよび操作性の向上のため、以下に示すような特徴を具備している。

- ・きず検出ロジックにおける検出分解能の適正化。
- ・きず性状解析のためのツール。
- ・各種条件変化に対応するための自動感度校正。

各々の機能について以下に詳細を述べる。

(1) 検出分解能

縮退処理において、4×4縮退は探傷領域に対して十分

長いきずが、また2×2縮退は探傷領域よりも短いきずが、縮退後の差分値が高くなる(Fig. 9)。この特質を利用して、2種類の縮退のOR条件によりきず判定を行っている。

(2) きず性状解析ツール(保守モード)

きずに対して形成される磁粉模様は、同じ長さ、深さのきずでも、その輝度の分布は大きく異なる。きずの検出性能を高めるには、きずの性状を解析し、最適なパラメータを選定する必要があるため、画像の輝度や差分処理後の演算値を1次元ヒストグラムで表示する輝度差分値表示機能と、縮退後の水平・垂直差分メモリおよびきず判定後のきずデータメモリを表示する機能を有する。

(3) 自動感度校正(感度校正モード)

カメラで撮像する際の鋼片表面の明るさは、紫外線強度・

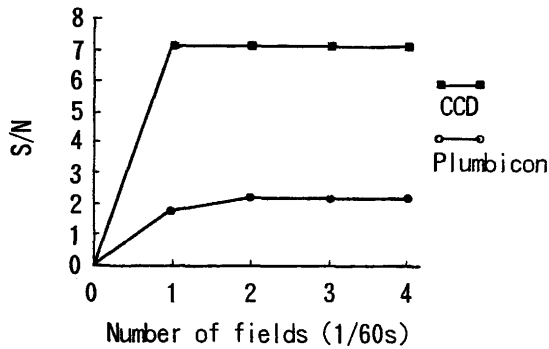


Fig. 10. Buildup characteristics of video signal (at 5 lx).

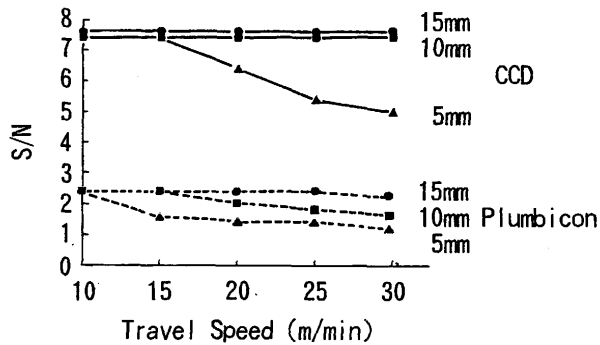


Fig. 11. Dynamic image characteristics for moving object 1 (at 5 lx).
(Comparison of S/N for various flaw length)

磁粉液濃度等のばらつきにより異なる。そこで感度校正モード時に、銅片の通材を行い、銅片中心部の表面輝度の平均値が設定した目標値と同じになるように、ビデオ入力オフセット値を自動的に設定する。

3・4 ITV装置

自動磁粉探傷装置の導入以来、当所ではITV装置として応答特性の良好なプランビコン撮像管を用いたITVを採用してきた。その理由として、①10(lx)以下の低照度領域でも感度が高い、②他の撮像管と比べて残像が少ない(3フィールド以内)、等が挙げられる。

しかしながらプランビコンでは、信号の立ち上がり特性に限界があり短い検出率が低いという問題があった。このため、より短い検出が可能でITV装置に改善する必要があった。

そこで、蛍光磁粉探傷時の低照度環境下でのカメラ特性評価のためのオフラインテスト装置を作成し種々の基礎実験を実施した。

Fig.10はカメラ直下に基準光発生器を静止させ、LED点灯直後から4フィールド目までのカメラ出力変化を示したものである。CCDカメラは1フィールド(1/60s)以内に信号が立ち上がっており、応答性が優れていることを確認した。

Fig.11は長さ5～15mmのLEDを点灯させたまま、カメラ下を10～30m/minの速度で通過させた時のデータである。

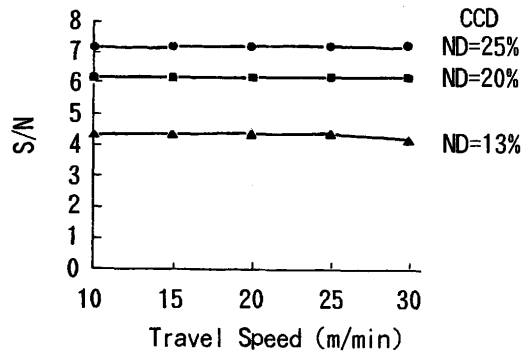


Fig. 12. Dynamic image characteristics for moving object 2 (at 5 lx).
(Comparison of S/N for various LED intensity)

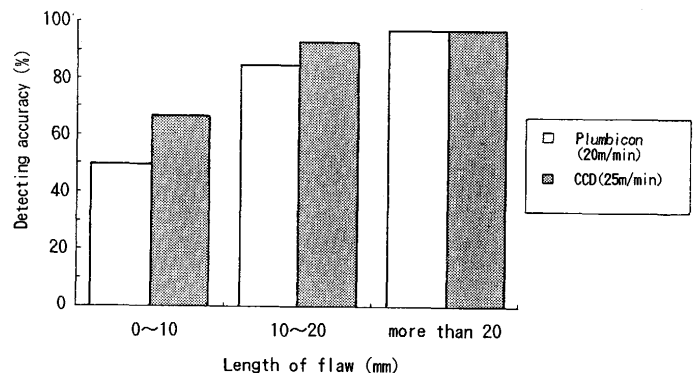


Fig. 13. Flaw detection results.
(flaws more than 0.3mmdepth)

またFig.12は基準光発生器に光量調節用のNDフィルターを取り付け、LEDの光度を変えた時のデータである。プランビコンは25m/min以上の速度ではS/N(信号/雑音)が落ちているが、CCDは安定したS/Nを得ている。しかもLEDの光度、すなわちきずの光度が変化しても動特性は変化していない。

この結果CCDカメラは、立ち上がり特性、動特性ともプランビコンより優れており、磁粉探傷における撮像装置として適していると判断、採用した。

3・5 適用結果

プランビコン(搬送速度20m/min)、CCD(同25mm/min)と新画像処理装置を適用した時の探傷結果をFig.13に示す。搬送速度を20→25m/minに上げても、CCDではきず深さ0.3mm、きず長さ10mm以上のきずに対し、良好な検出結果を得ることができた。この結果、短い検出率向上および搬送速度の向上が可能となり、大幅な省力が達成できた。

銅片段階の表面きずは、線材、棒鋼に圧延された段階では線状きずとなる。上流である銅片段階での短い検出能力向上は、2・3の線材の表面探傷技術において述べたように検出が困難である線材表面の線状きずに対する解決策の一つとして重要であり、線材表面品質保証レベルの向上に大きく寄与する事ができた。

4. 結言

線材・棒鋼および2次加工品の表面品質保証技術として、磁粉探傷・漏洩磁束探傷・渦流探傷装置の高精度化・高能率化の要求は高まる一方である。特に、探傷の自動化が進むにつれ、きず取りあるいは選別装置等とのリンケージが一般化してきており、信号処理および周辺技術の開発も重要になってきている。さらに今後は、探傷装置からの品質情報を有効に品質管理・工程管理に活用できるシステムとすることによって、製造から検査部門にわたる一貫した生産性の向上ならびに製造品質の向上・安定化が図れるであろう。また、線材・棒鋼は多数の加工工程を経て最終部品となるため、素材から2次加工にわたる総合的な品質保証が要求される。それ故に、トータル的な検査コストも考慮

して、各工程でバランスの良い品質保証体制とすることが重要である。

文 献

- 1) 新村鉄三郎, 岩崎全良, 津田五郎, 木邑信夫, 結城 滋, 牛尾敬二: 鉄と鋼, **70**(1984), p.1216
- 2) 高田健一, 八木富一, 矢野泰三, 遠藤敏夫, 藤田祐司: 材料とプロセス, **5** (1992), p.350
- 3) 廣島龍夫, 広田哲也, 守屋惇郎, 山嶋一剛, 山根萬寿雄: 住友金属, **30**(1978), p.154
- 4) 山口久雄, 松原紀之, 藤沢和夫, 松本重明: 鉄と鋼, **70**(1984), p.1210
- 5) 中山益盛, 水野正志, 香田 浩, 中村 薫, 市岡雄二: 材料とプロセス, **4** (1991), p.1368
- 6) 滝水莞爾, 宮田謙一, 百田陽一, 樋口英樹, 廣島龍夫, 坂本隆秀: 住友金属, **36**(1984), p.173
- 7) 坂本俊夫, 金堂秀範, 山中榮輔, 井野清治, 西島真也: 材料とプロセス, **4** (1991), p.1522
- 8) 川口康信: 日本ねじ研究協会誌, **21**(1990), p.105