

川崎製鉄技報

KAWASAKI STEEL GIHO

Vol.34(2002)No.1

新機能線材・棒鋼小特集号

棒鋼・線材における全断面品質保証

Quality Assurance in Entire Cross Section for Billet Used at Wire Rod and Bar Mills

大谷 義則 (Ohtani, Y.) 福高 善己 (Fukutaka, Y.) 中島 力 (Nakajima, T.)

要旨：

線材・棒鋼工場で使用するビレットの断面を正方形から円形にすることによってビレット表面・内部検査の自動化を可能にするとともに検出の高精度化を達成した。表面検査は漏洩磁束探傷を採用し、最小検出欠陥深さは 0.3mm である。内部探傷は新開発の垂直斜角 2 探触子法と従来の斜角 1 探触子法の組み合わせにより、表皮下欠陥と内部欠陥を弁別して手入れによる除去可否を判定している。これらの探傷装置と手入れグラインダー、最終の磁気探傷を連続ライン化して高精度探傷と高能率を両立した。ビレットの品質向上を図ることと線材・棒鋼工場の自動探傷を組みあわせることでますます厳格化する品質要求に答える高品質の線材・棒鋼製品の製造体制を確立した。

Synopsis：

Automatic and high-precision detection has been achieved for billet surface/internal inspections by changing the profile of the billet used at wire rod and bar mills from square to round. Surface inspection employs magnetic leakage flux testing, and the minimum detectable flaw depth is 0.3mm. Internal flaw detection discriminates between surface layer flaws and internal flaws by combining the newly developed normal-and-angle two-probe beam method with the conventional one-probe angle beam method. This can determine whether it would be possible to use a grinder to eliminate flaws. These flaw detection units, grinders for eliminating flaws, and a final magnetic test are configured in a continuous line to deliver both high-precision flaw detection and high efficiency. A manufacturing system for high-quality wire rod and bar products that can satisfy today's ever-increasing quality demands has been established by combining attempts to improve billet quality with automated flaw detection at wire rod and bar mills.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

Quality Assurance in Entire Cross Section for Billet Used at Wire Rod and Bar Mills



大谷 義則
Yoshinori Ohtani
水島製鉄所
条鋼圧延部条鋼技術室
主査(主席掛長)



福高 善己
Yoshimi Fukutaka
水島製鉄所
制御技術部制御技術室
主査(課長)



中島 力
Tsutomu Nakajima
水島製鉄所
商品技術部商品技術室
主査(課長)

要旨

線材・棒鋼工場で使用するビレットの断面を正方形から円形にすることによってビレット表面・内部検査の自動化を可能にするとともに検出の高精度化を達成した。表面検査は漏洩磁束探傷を採用し、最小検出欠陥深さは 0.3 mm である。内部探傷は新開発の垂直斜角 2 探触子法と従来の斜角 1 探触子法の組み合わせにより、表皮下欠陥と内部欠陥を弁別して手入れによる除去可否を判定している。これらの探傷装置と手入れグラインダー、最終の磁気探傷を連続ライン化して高精度探傷と高能率を両立した。ビレットの品質向上を図ることと線材・棒鋼工場の自動探傷を組みあわせることでますます厳格化する品質要求に答える高品質の線材・棒鋼製品の製造体制を確立した。

Synopsis:

Automatic and high-precision detection has been achieved for billet surface/internal inspections by changing the profile of the billet used at wire rod and bar mills from square to round. Surface inspection employs magnetic leakage flux testing, and the minimum detectable flaw depth is 0.3 mm. Internal flaw detection discriminates between surface layer flaws and internal flaws by combining the newly developed normal-and-angle two-probe beam method with the conventional one-probe angle beam method. This can determine whether it would be possible to use a grinder to eliminate flaws. These flaw detection units, grinders for eliminating flaws, and a final magnetic test are configured in a continuous line to deliver both high-precision flaw detection and high efficiency. A manufacturing system for high-quality wire rod and bar products that can satisfy today's ever-increasing quality demands has been established by combining attempts to improve billet quality with automated flaw detection at wire rod and bar mills.

1 緒 言

線材・棒鋼製品は、幅広い分野で使用されお客様の要求品質レベルは年々高度化している。このような状況の中で当社は等速ジョイントや軸受に代表される自動車用部品などの品質要求の厳しい高級鋼の生産を指向して製造技術、品質保証技術の開発を進めてきた。さらに年々工程省略鋼の導入が進んでおり製品の品質に与える素材の影響はますます重要になっている。当社では、この品質要求レベルに対応するべく 1997 年に線材・棒鋼工場に供給するビレットを 150 mm 角鋼から 170 mm 丸鋼に変更し、従来シームレス用丸ビレット検査ラインとして使用されていた検査機器を線材・棒鋼用に新鋭化させた。主な対策としては表面欠陥探傷精度向上による欠陥深さ 0.3 mm の 100% 検出、世界で初めて表層部欠陥の深さ認識が可能となった垂直・斜角 2 探触子法を導入した丸ビレット内部欠陥探傷装置 (automatic ultrasonic tester, 以降 AUT) の新設、丸ビレット脱炭層のピーリングによる均一除去後、渦流探傷による表面欠

陥検査設備の導入を実現した。これにより全断面品質保証体制を構築し線材・棒鋼製品での品質向上を実現した。本稿では、鋼片工場ビレット品質保証検査設備の機能と特徴およびその結果得られた品質レベルアップ状況の概要について紹介する。

2 線材・棒鋼向けビレット製造工程

2.1 連続鑄造ブルームからビレットへの圧延

Fig. 1 に鋼片工場のレイアウトを示す。線材・棒鋼工場の素材となるビレットは、連続鑄造設備より熱片無人搬送台車²⁾ (highly-computer controlled vehicle) を用いて加熱炉に約 600°C の温度でホットチャージされた 300×400 もしくは 400×560 の断面を持つ連続鑄造ブルームを再加熱した後リバース方式の粗圧延機で中間断面を成形し、それを V (vertical) スタンド 2 基、H (horizontal) スタンド 2 基を交互配列した仕上げ圧延機で線材・棒鋼ビレットサイズに圧延する。圧延材はホットソーで命令長さに切断スクーリングベッ

* 平成13年11月26日原稿受付

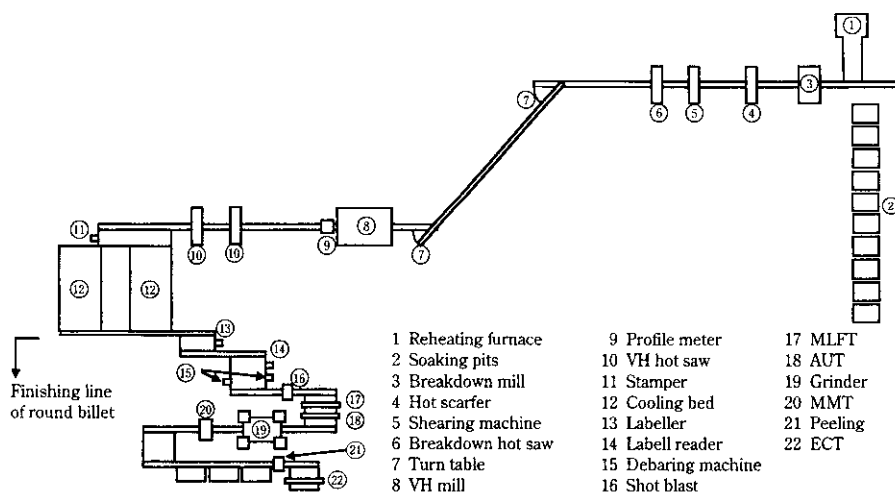
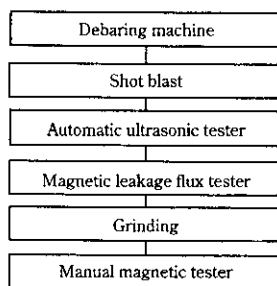


Fig. 1 Layout of the billet mill at Mizushima Works

(1) Standard specification



(2) Strict specification

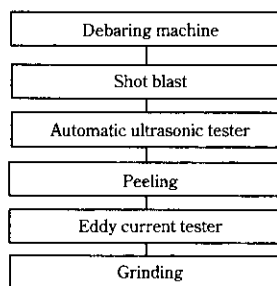


Fig. 2 Flow chart of round billet inspection

2.2 ビレット精整処理

丸ビレット精整ラインにおいて表面欠陥および内部欠陥の検査を実施する。丸ビレット精整ラインのレイアウトを Fig. 1 に示す。処理は端面面取りから磁粉探傷までを高効率で連続的に処理するライン構成となっている。標準的な検査方法は Fig. 2 に示すように表面欠陥探傷の後、欠陥部をグラインダー手入れで除去しさらに手入れ部の欠陥残存状況を磁粉探傷装置 (manual magnetic tester, 以降 MMT) により確認し手入れ部に欠陥残りがあれば再度グラインダー手入れを実施する。軸受線材など介在物、脱炭要求レベルの厳格な線材・棒鋼製品向けビレットに関しては直径 170 mm の圧延径からのピーリングを実施し、その表面を渦流探傷装置で検査する。各検査機器の主な仕様を Table 1 に示す。

Table 1 Inspection equipment for billet

Equipment	Specification	Installation date
MLFT		
Method	Billet turning type	
Accuracy	Depth: 0.3 mm Length: 10 mm	Feb., 1984
Probe	Hall element 24 channels × 2 heads	
AUT		
Method	Billet turning type	
Frequency	Normal probe: 5.5 MHz Angle probe: 3.5 MHz	Oct., 1997
Accuracy	1 mmφ × 10 mmL, S/N ≥ 3	
Number of probes	Normal: 1, Angle: 2 Array type	
MMT		
Method	Prod type	Feb., 1984
Accuracy	Length: 10 mm	
ECT		
Method	Billet turning type	
Accuracy	Depth: 0.3 mm Length: 10 mm	Aug., 1999
Probe	Eddy current 10 channels × 1 head	

3 ビレット全断面品質保証

3.1 表面欠陥探傷

3.1.1 漏洩磁束探傷装置

冷間における表面欠陥の探傷は、線材・棒鋼向けのすべてのビレットで実施している。従来 150 mm 角ビレットを素材としていた場合は、磁粉探傷装置を用いた目視検査を実施していたので、コーナー部の欠陥が検出しにくい傾向にあり、品質厳格材は無条件全長手入を実施することで対応していた。

一方、丸ビレットの場合、Fig. 3 で示すようにビレットをターニングローラ上で回転させながらセンサプローブを走行させることでビレット表面を探傷する⁴⁾。これにより全表面を均一な条件で安定

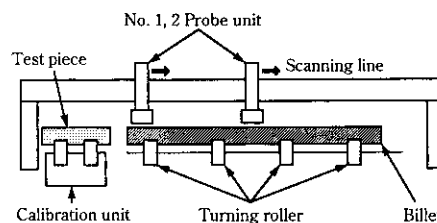


Fig. 3 Front view of magnetic leakage flux tester

的に検査することが可能となった。漏洩磁束探傷装置 (magnetic leakage-flux tester, 以降 MLFT) は微細な欠陥を検出するために小型で高感度なホール素子を 5 mm ピッチでセンサプローブ当り 24 チャンネル配置している。欠陥の深さはビレット表面を励磁ヨークで磁化し欠陥部分から生じる漏洩磁束をホール素子で検知し評価している。

従来の MLFT では、欠陥深さ 0.5 mm の検出率は 100% であるが、

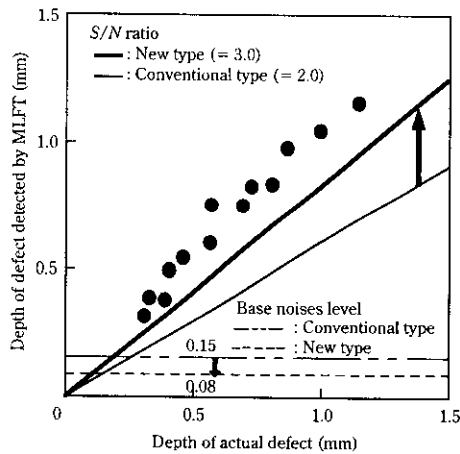


Fig. 4 Relationship in detectable defect depth between conventional type and new type for MLFT

欠陥深さ 0.3 mm に関しては検出率 50% であった。これは漏洩磁束量不足やセンサプローブの追従性に起因するものである。今回の丸ビレット化で上記の対策として以下に示す改造を行い欠陥保証レベルの向上を図った。改造にあたっては深さ 0.3 mm の欠陥を欠陥出力信号/ノイズ（以降 S/N）3 以上で 100% 検出することを目標とした。

- (1) 励磁ヨークの形状見直しと励磁電圧を従来の 190 V から 240 V に向上させることにより磁束密度を約 2 倍に増加させた。
- (2) ノイズ低減対策としてホール素子を内蔵したセンサプローブのサスペンション機構部を改造し検査対象ビレットとの密着性を向上させた。

これらの改造により Fig. 4 に示すように S/N を向上させ疵深さ 0.3 mm の欠陥探傷を可能にした。

3.1.2 磁粉探傷装置

MLFT 検出欠陥をグラインダーで除去した後、手入れ部分の欠陥残り状況を確認するため MMT で検査している。長手方向の欠陥に対してはスクローラによりビレットをスパイラル状に搬送しながら電極ローラを両側からビレットに接触させ通電、磁化させるブロード法を採用している。ビレット周方向の欠陥に対しては非接触コイルで磁化を実施する。いずれの場合も目視で検査を行い欠陥の残存が認められた部位については再度グラインダー手入れを実施し手入れ跡に残存欠陥が皆無になるまでこの工程を繰り返す。

3.1.3 渦流探傷装置

150 mm 角ビレットの場合、表面脱炭層や介在物の除去は Fig. 1 の圧延ラインに設置されたホットスカーフ設備で一律除去の造り込み保証としていた。丸ビレット化にともない脱炭層格材に関しては、170 mm 丸ビレットをピーリング設備で外周加工を施し均一な脱炭層除去を実施する。

ピーリング後の表面品質はピーリング設備後面に設置した渦流探傷装置（eddy current tester、以降 ECT）で保証する体制を 1999 年確立した。センサプローブレイアウトを Fig. 5 に示す。探傷は MLFT の場合と同様に検査材を回転させながら探傷ヘッドを走査させる。センサプローブには ECT センサーが 10 mm ピッチで 10 個配列されており深さ 0.3 mm、長さ 10 mm の欠陥を S/N 3 以上で検出可能である。渦流探傷装置は励磁コイルと検出コイルから構成される相互誘導型コイル方式を採用している。E 型形状のフェライトコア中央部の励磁コイルに交流電流を流すと検査材表面に渦電流が発生する。励磁コイル両側の検出コイルには欠陥などの渦電流の

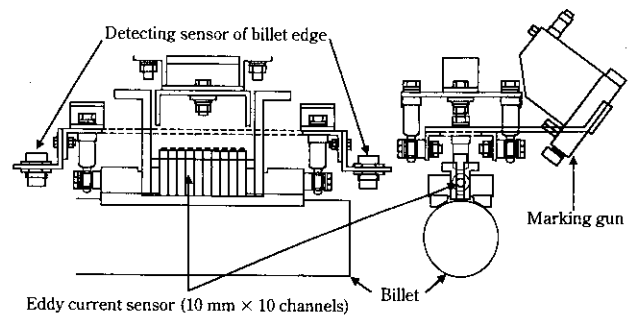


Fig. 5 Sensor head layout of eddy current device

流れを妨げるものが存在した場合、渦電流の変化すなわち起電力の変化が起こりこれを検出する。このセンサーは、2 つの検出コイルの差分処理を行っているため他の方式に比べて距離変動や検査材の表面性状の影響が少なく検出性能が高く安定している。また MLFT の場合、原理上検査材が強磁性体でなければ磁束が流れないためオーステナイト系ステンレス鋼などの非磁性体に対して検査できない欠点を持ち目視検査に依存していた。ECT では上述のとおり渦電流を利用した探傷方法であり検査材の磁気特性に影響されることなく表面欠陥の検査が可能である。欠陥を検出した場合は MLFT の場合と同様に欠陥部にマーキングを行いその部分の手入れを実施する。

3.2 内部欠陥探傷装置

丸ビレット精整ラインは従来シームレス用丸ビレットの検査ラインであったため AUT は設置されていなかった。線材・棒鋼向けビレットでは製品中央部の割れ、未圧着ザクや介在物などが問題となるため専用の AUT を新設した。欠陥検出精度は角ビレット AUT と同等なレベルを確保する。角ビレット AUT の場合欠陥位置の認識は、垂直と斜角探触子で同時に検出した欠陥を内部欠陥とし、垂直探触子では検出しないが斜角探触子で検出した場合は表皮下欠陥として認識させ、自動マーキング後グラインダーにより手入れ除去を実施していた。一方コーナー部の欠陥に関しては斜角探触子から送信された超音波が何回反射で欠陥を検出したかについて原理上認識することができなかったため、欠陥の存在領域が不明であった。それに対し今回の丸ビレット AUT では、従来の斜角 1 探触子法と今回新たに開発した垂直・斜角 2 探触子法の結果を組み合わせることで、欠陥深さ位置認識技術を世界で初めて実用化した。垂直・斜角 2 探触子法は垂直探触子から送信された超音波の欠陥からの反射波を斜角探触子で受信し幾何学的演算により欠陥の存在する深さを特定する方法である。Fig. 6 に探触子の配置構成を示す。この探傷方法ではビレット表面より 1.5~8.0 mm の欠陥深さを ±0.3 mm 以内の再現性で検出可能である。さらに垂直・斜角 2 探触子法で検出し

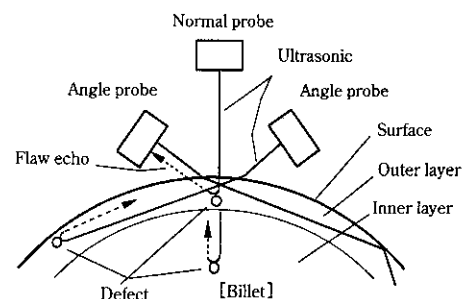


Fig. 6 Principles of developed ultrasonic testing method

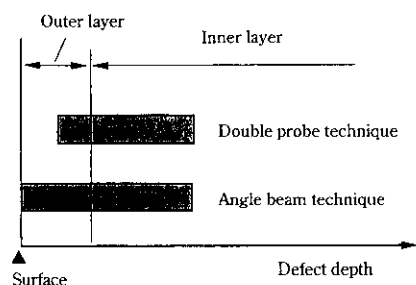


Fig. 7 Judgment method of defect depth

Table 2 Comparison of square billet and round billet for surface defect detection of bars

	Square billet	Round billet
Acceptance ratio (%)	90	95

Table 3 Comparison of square billet and peeling billet for number of surface defect per billet of rods

	Square billet	Peeling
Number	0.96	0.35

た欠陥は検出深さから皮下欠陥と内部欠陥に分類され、斜角1探触子法のみで検出した欠陥は1.5mmより浅い皮下欠陥と判定する。表層部欠陥を皮下欠陥と内部欠陥に分類する方法をFig. 7に示す⁹⁾。従来は深さの識別できない領域はホットスカーフ除去による造り込み保証であったが、この技術の開発により検査保証可能な体制となった。

4 線材・棒鋼製品の品質

ビレット表面および内部欠陥に対する検査機器の新鋭化を行いビ

レット断面を角から丸形状に変更したことによる棒鋼製品での表面欠陥に関するオンライン合格率をTable 2に示す。Table 3には、ピーリングとECTを適用し線材製品に圧延された際の欠陥個数削減状況を示す。いずれの結果においても旧プロセスより新プロセスを採用した方が最終製品での検査成績の向上が図られている。なお、棒鋼、線材とも発生した欠陥に関しては手入れ再検査を実施し最終合格率は、ほぼ100%を確保している。

5 結 言

線材・棒鋼製品の多様化、高度化する品質要求に応えるため1997年以降MLFT欠陥検出能力向上、AUTやECTの新設など検査機器の新鋭化を実施し線材・棒鋼向けビレットを150mm角鋼から170mm丸鋼に変更した。その概要は以下のとおりである。

- (1) 漏洩磁束探傷装置の欠陥検出精度を欠陥深さ0.3mmに対しS/Nが3以上で100%検出可能な設備改造により均一な表面欠陥検査が可能となった。
- (2) 丸ビレット脱炭層の除去をピーリング加工の適用で安定的に行うことが可能となった。さらにピーリング設備後面に渦流探傷装置を設置することで表面欠陥に対する保証体制を強化した。
- (3) 斜角1探触子法に加え垂直・斜角2探触子法を実用化することにより、世界で初めて表層部欠陥の深さ認識することが可能な丸ビレットAUTを設置した。これにより角ビレットコーナー部の欠陥除去はホットスカーフに依る造り込み保証で対応していたものを検査保証可能な体制に変更した。
- (4) 上記の検査設備充実により線材・棒鋼製品での合格率などの品質指標は向上し高度化、多様化するお客様の要求に耐えうるビレット品質保証体制を構築することができた。

今後もこれらの検査機器を基礎として品質保証体制のさらなるレベルアップを指向して行く所存である。

参 考 文 献

- 1) 山中榮輔, 金堂秀範, 西島真也, 福田 実, 井野清治, 土井彌彦: 川崎製鉄技報, 23(1985)2, 85
- 2) 中西輝行, 芳村嘉夫, 瀬戸恒雄, 馬場和史, 有村 博, 渡部修三: 川崎製鉄技報, 17(1985)1, 32
- 3) 平井信恒, 吉原正典, 中西輝行: 川崎製鉄技報, 17(1985)1, 4
- 4) 山中榮輔, 山崎順次郎, 中川康弘, 柴山卓真, 三浦隆義: 川崎製鉄技報, 17(1985)1, 46
- 5) 福高善己, 竹久 修, 大谷義則, 田中洋次: 第114回日本鉄鋼協会春季講演大会, (2001)