
水流電気抵抗式平坦度検出装置

Flatness Meter by Using Water Current Electric Resistance

江端 貞夫(Sadao Ebata) 井上 利夫(Toshio Inoue) 齊川 夏樹(Natsuki Saikawa)

要旨：

本報告は、熱間圧延ライン仕上圧延機出側で、圧延中の鋼板の平坦度を高精度で測定できる水流式平坦度検出装置について述べる。検出原理は、圧延中の鋼板と検出ノズルとを電氣的に連結するための水流の電気抵抗を利用し、この電気抵抗の変化を鋼板の上下動、すなわち平坦度に換算するものである。種々の実験結果から、検出制度は急峻度換算で1 σ が0.11%であり、平坦度の目視観察結果と検出結果とは良好な対応がとれている。この平坦度検出装置の完成により、熱間圧延鋼板の自動平坦度制御に新たな展望が得られた。

Synopsis：

This paper describes a new technique for measuring flatness of steel strip with high accuracy at the exit of the finishing stand. The principle is based on measuring electric resistance change of water current through which the steel strip and water nozzle electrode are electrically connected. The experimental results showed that flatness could be measured within an accuracy of 0.11 percent by standard deviation of flatness index, showing good correspondence to eye measurements. This instrument gave a bright possibility for automatic flatness control during hot rolling.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

水流電気抵抗式平坦度検出装置

Flatness Meter by Using Water Current Electric Resistance

江 端 貞 夫*

Sadao Ebata

井 上 利 夫**

Toshio Inoue

斉 川 夏 樹***

Natsuki Saikawa

Synopsis:

This paper describes a new technique for measuring flatness of steel strip with high accuracy at the exit of the finishing stand. The principle is based on measuring electric resistance change of water current through which the steel strip and water nozzle electrode are electrically connected. The experimental results showed that flatness could be measured within an accuracy of 0.11 percent by standard deviation of flatness index, showing good correspondence to eye measurements. This instrument gave a bright possibility for automatic flatness control during hot rolling.

1. 結 言

近年、熱間熱延鋼板の平坦度に対する要求が厳しくなる傾向にあり、また熱間圧延後の工程での能率、歩留りの面からも平坦度の優れた鋼板の製造技術の確立が望まれている。

熱間圧延鋼板の品質のうち、平坦度に関する技術開発が従来立ち遅れていた。その主な原因としては、平坦度を熱間圧延中に定量的に安定して把握する手段がなく、制御を効果的に実施するための解析すら困難であったことがあげられる。

このような現状を改善するために、ミルスケール、水、蒸気などが多量に飛散し、かつ高温にさ

らされる苛酷な環境下で平坦度を精度よく検出する技術の開発が強く望まれていた。

このたび当社では、水流の電気抵抗を利用して鋼板の上下動を検出する新しい原理を応用し、雰囲気や鋼板面の状態に影響されない高精度な平坦度検出装置の開発と実用化に成功したのでここに報告する。

2. 平 坦 度

熱間圧延された鋼板の代表的な平坦度不良の例を Fig.1 に示す。平坦度不良は幅方向各部の実長のわずかな差によって生じるもので、Fig.1(a)は両縁部がより多く伸びて波打った状態を示す「耳

* 水島製鉄所企画部設計室主任（掛長待遇）

*** 水島製鉄所システム制御技術室

〔昭和53年9月1日原稿受付〕

** 水島製鉄所薄板圧延部薄板技術室

伸び」, Fig. 1(b)は中央部が波打った「腹伸び」,そして Fig. 1(c)は一方の縁部のみが波打った「片伸び」と呼ばれる例である。これらの耳伸び, 腹伸び, 片伸びなどの平坦度を定量的に表現するパラメーター f は中央部, 一方の縁部, 他方の縁部などの急峻度をそれぞれ λ_C , λ_W , λ_D として下記の式によって求められる。

$$\text{平坦度} \begin{cases} \text{耳伸び, 腹伸び} & f_1 = \lambda_C - \frac{\lambda_W + \lambda_D}{2} \\ \text{片伸び} & f_2 = \lambda_D - \lambda_W \end{cases}$$

ここに鋼板に生じている波の急峻度 λ は, Fig. 1(d)に示すように波の振幅 h と波長 p との比として表される。

3. 検出の原理と特徴

3.1 原理

前述に定義した平坦度を求めるためには板幅方向各部の波の形を定量化する必要がある。これらの波の形は鋼板の走行速度と, 各部の上下変位量から計算できる。走行速度は圧延ロールの回転速度から容易に知ることができるのに対して, 上下変位量を検出する適当な方法はこれまでなかった。

このたび開発した平坦度検出装置は, 以下に述べるような検出原理を応用している。

Fig. 2 にこの検出原理を示す。鋼板下面に水を噴射するためのノズルはテーブルローラ間に設置

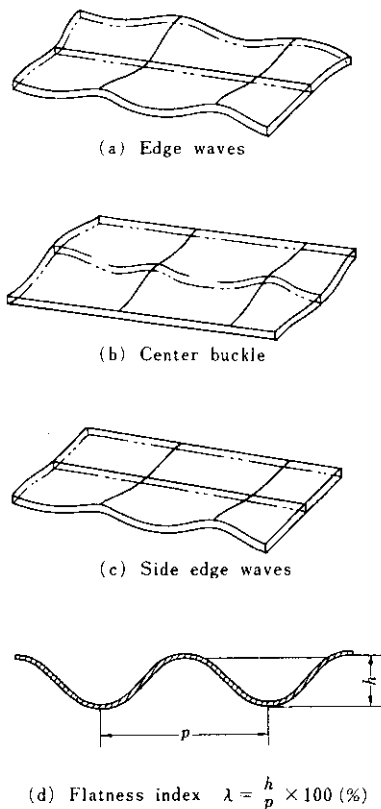


Fig. 1 Typical examples of unflatness of hot strip and the definition of flatness index

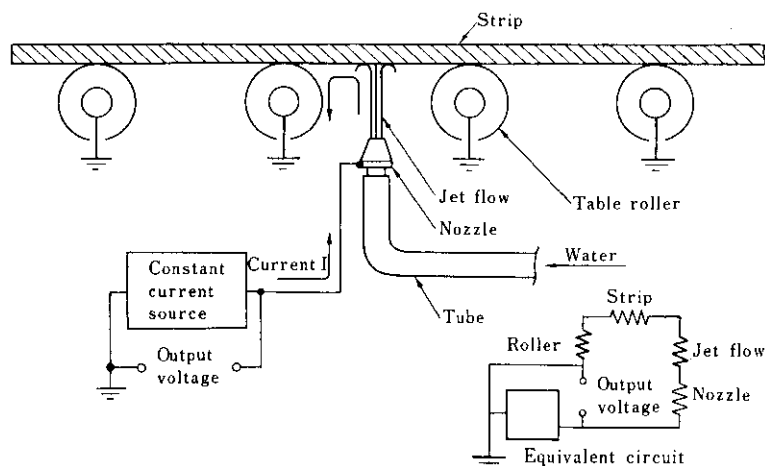


Fig. 2 Principle of flatness measurement and its equivalent circuit

されており、これには定電流源によって電圧が印加され、またチューブを通して水源より水が供給されている。このチューブは、ノズルから水源に向かって流れる電流を実用上無視し得るほどの微小にするために、十分な長さが確保されている。

定電流源の出力電流は、ノズル、水流、鋼板、テーブルローラなどを通して流れ、この電流の流れる等価回路を Fig. 2 に示す。この回路における抵抗はほとんど水流によるものであり、他の部分の抵抗は微小で無視できる。したがって、定電流源の出力端子間に生じる電圧は実用上水流の抵抗、すなわち水流の長さに比例する。ゆえに、鋼板の上下変位量は出力端子間の電圧変動量によって検出することができる。

3.2 特徴

鋼板の平坦度検出装置は、従来より種々の原理のものが考案され実用化されているが、その多くは冷間圧延を対象としたものであり、熱間圧延を対象としたものは、材料および雰囲気などの制約条件が多く、これまで実用化が困難であった。しかし本装置は、材料との機械的接触がないために、材料が傷つけられることなく、検出器も損傷を受けず、しかも追従性が良好である。さらに光学的原理によらないため、浮遊する水蒸気および鋼板上に滞留する水の影響をまったく受けることがない。熱間圧延用の平坦度検出装置として考えられ

る主な方式の特徴¹⁻³⁾を比較して Table 1 に示す。

4. 装置の構成

平坦度検出装置の構成を Fig. 3 に、主要部の仕様を Table 2 に示す。

圧延機出側のテーブルローラ間に設置された検出用ノズルの外観を Photo. 1 に示す。

4.1 上下変位検出用ノズル

上下変位検出用ノズルは、この平坦度検出装置を Fig. 4 に、外観を Photo. 2 に示す。

このノズルは厳しい雰囲気のもとで使用されるため、絶縁低下および水流の乱れなどに対して構造上の配慮がされている。ノズルチップには、鋼板下面に向けて安定した水流を噴射するための噴出孔を設けており、また水流に電流を流すために電圧を印加している。なお、このノズルチップは絶縁体によって支持されており、アースへの電流漏洩が防がれている。上方より、ノズル内部へ水滴、ミルスケールなどが侵入することを防止する目的で、ノズル下方よりパージ用エアを供給している。

4.2 水の供給装置

この検出装置には水アカなどの不純物の含有量が少なく、導伝率変化の小さな上水道水を用いており、その供給装置を Fig. 5 に示す。

気泡分離管は水流内に気泡が混入してノイズの

Table 1 Comparison of outside factors among flatness measuring methods

	Mechanical methods	Optical methods	New method
Influence of scratches on strip surface	×	○	○
Influence of strip vibration	×	○	○
Influence of atmospheric conditions			
High temperature	△	○	○
Coolant on strip	○	△	○
Vapor and mill scale	△	△	○
Mounting	×	○	○
Easiness of maintenance	×	△	○
Initial cost	△	△	○

○ Good, △ Moderate, × Bad

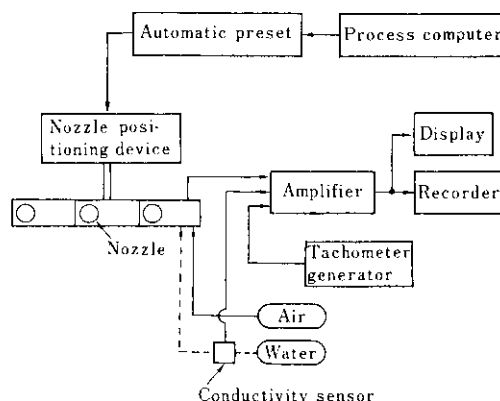


Fig. 3 Flow diagram of flatness measuring instrument

Table 2 Specifications and technical data of instrument

Item	Number	Specification and technical data	
Nozzle	3	Nozzle outer diameter	92 mm ϕ
Signal processing equipment	1	Number of channels Sampling period Reset time Output Power supply	3 3.3 m.s 0.4 ~ 2.5 s ± 5 V A.C. 100 V/60 Hz
Nozzle positioning device	1	Travelling speed Stroke Accuracy of positioning Modes of positioning	30 mm/s ± 1050 mm (from center) ± 10 mm 1) By computer 2) By hand
Water supply equipment	1		
Bubble separator	1	Dimensions	100 mm ϕ $\times$ 500 mm
Conductivity sensor	1	Type	2 electrodes type
Control valve	3	Range	30 ~ 200 μ S/cm
Air supply equipment	1	Air pressure	5 kg/cm ²
Display	2	Type	D.C. voltmeter
Recorder	1	Type	2 pen recording



Photo. 1 Nozzle

原因となるのを防ぎ、導電率計は水の導電率変化による誤差を補正し、また定値流量制御弁は各ノズルに一定流量の水を供給する。

4.3 信号処理装置

鋼板の平坦度は前述したように、急峻度の相対的な比較によって表すことができる。しかし、波のピッチや振幅を1波長ごとに検知することは實際上不可能であり、また必要とされないで、

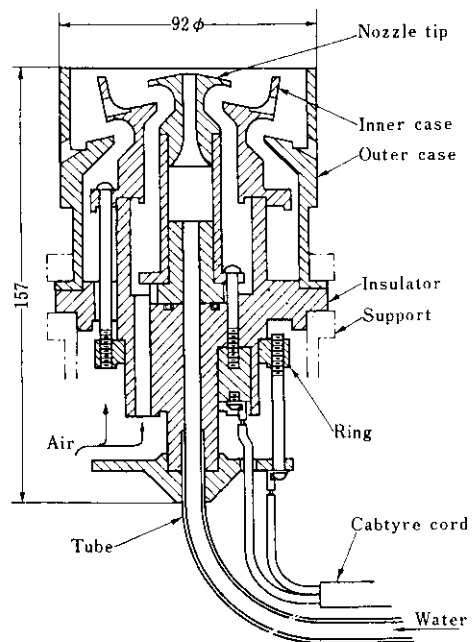


Fig. 4 Sectional view of nozzle

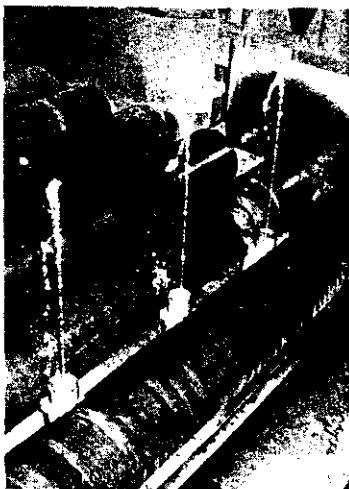


Photo. 2 Nozzle disposition

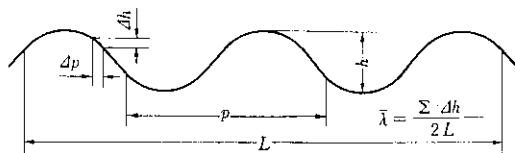
一定長さ内の急峻度の平均値を求め、これから平坦度を知ることが実用的である。

Fig. 6 に鋼板の一定長さ内の平均急峻度を求める方法を示す。微小区間 Δp は波のピッチ p に比べて十分に小さければ、一定長さ内 L の平均急峻度 $\bar{\lambda}$ は次式のように求めることができる。

$$\bar{\lambda} = \frac{\bar{h}}{p} \div \frac{\sum |\Delta h|}{2L}$$

以上のような考え方で、急峻度を検出するための信号処理装置のブロックダイアグラムを Fig. 7 に示す。

Fig. 7 において、出力電流は水の導電率変化に応じて自動的に補正される。また定電流源の出力は二つのサンプルホールド回路 A, B に入力される。これらのサンプルホールド回路 A, B は、

Fig. 6 Principle diagram for getting mean flatness index $\bar{\lambda}$ in certain length L

互いに 180 度異なった位相差で交互にサンプリングとホールディングを行う。演算回路および整流回路は、二つのサンプルホールド回路 A, B の出力差の絶対値を求めている。

積分回路はこの絶対値信号を積分し、またサンプルホールド回路 C は、積分された信号を次の積分時間の間ホールドする。これらの積分回路、サンプルホールド回路 C は、鋼板の走行速度に比例した周波数のゲートパルスで制御される。演算回路は各ノズルのチャンネルの出力を演算し、鋼板の中央およびエッジ部の急峻度の差異をアナログ量でオペレータ室に表示する。オペレータは平坦度を Table 3 に示す基準をもとに判断し修正操作を行っている。

以上述べた信号処理の流れを Fig. 8 に示す。

4.4 付帯設備

鋼板の板幅に応じて両縁部ノズル位置を移動させるために、ノズル移動装置が設けられており、これはプロセスコンピュータにより設定値を受け、自動的にノズル位置を設定する。

信号処理装置からの平坦度信号は、運転室に設

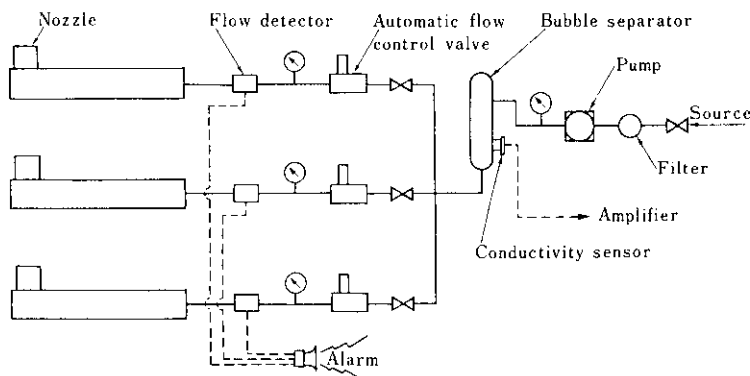


Fig. 5 Water supply system for nozzle

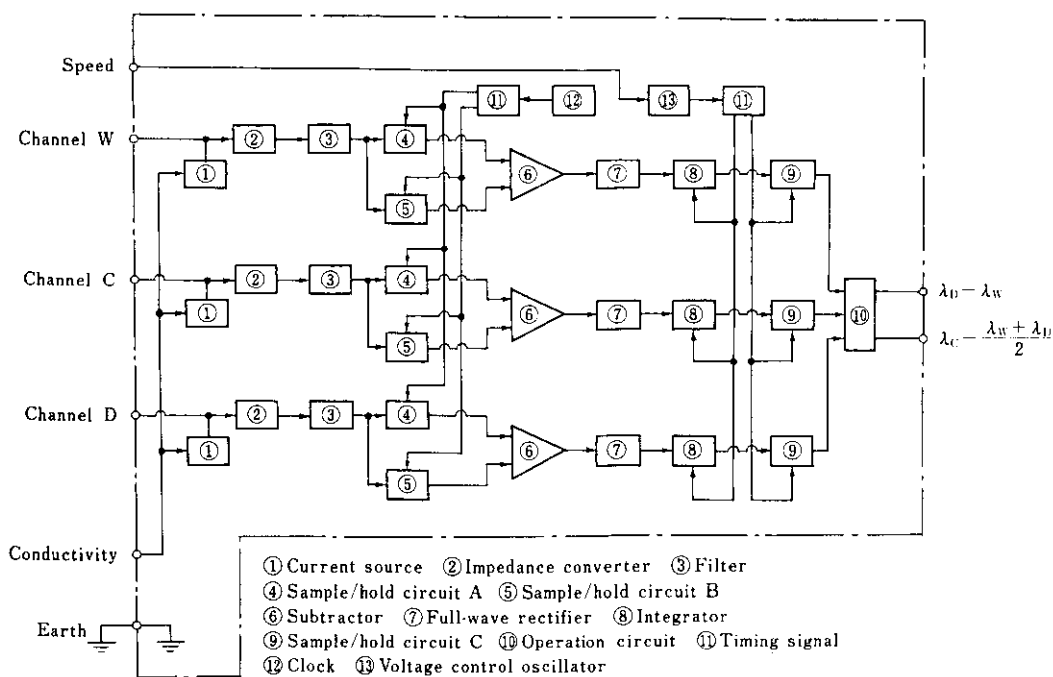


Fig. 7 Block diagram of signal processing equipment for detecting flatness index

Table 3 Judgement of strip flatness by output signal

Instrument outputs		Judgement of flatness
$X = \lambda_C - \frac{\lambda_W + \lambda_D}{2}$	$Y = \lambda_D - \lambda_W$	
$X \approx 0$	$Y \approx 0$	Flat
$X > 0$	$Y \approx 0$	Center buckle
$X < 0$	$Y \approx 0$	Edge waves
$X \approx 0$	$Y > 0$	Side waves in drive side
$X \approx 0$	$Y < 0$	Side waves in work side

置された記録計およびモニターに記録・表示されている。

5. 装置の性能

5.1 急峻度検出精度

ノズルと鋼板間の距離と出力電圧の間にはFig.

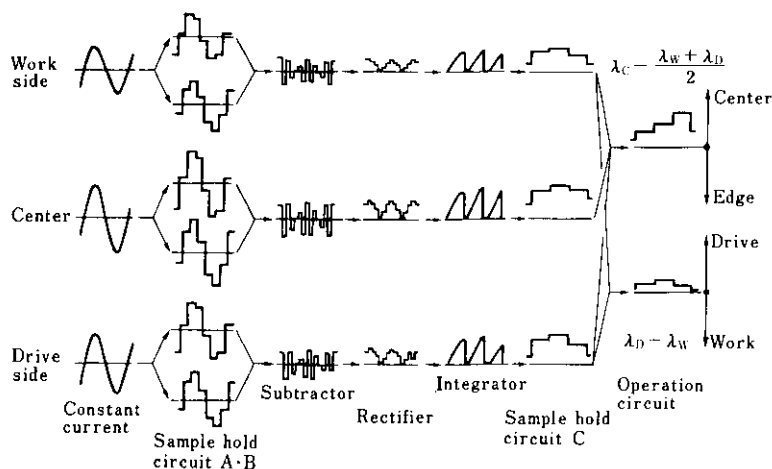


Fig. 8 Flow diagram of signal processing method in Fig. 7

9に示すような良好な正比例関係がある。

ノズルの追従性すなわち動的な検出精度を求めるために用いた検定装置をFig.10に示す。

この検定装置を用いて、上下動の周期および積分時間を一定として得られたデータの一例をFig.11に示す。

また同様に、周期、振幅および積分時間を種々変えた場合のデータを、鋼板の走行速度と積分時間の関係を用いて急峻度に換算し、この急峻度と出力の関係をFig.12に示す。これらの図から明らかにノズル単体での検出精度は $\sigma=0.051\%$ であり、実用上の目標精度を十分に満足している。

5・2 平坦度検出精度

平坦度の検出精度を確認するには、検出直後の実平坦度を知ることが必要であるが、赤熱状態で

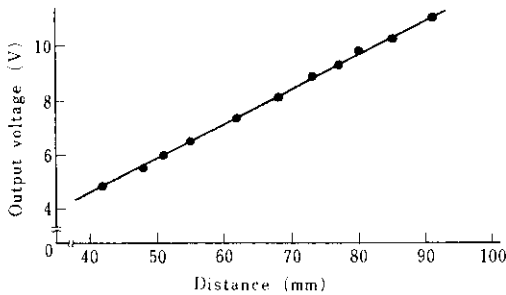


Fig.9 Relation between distance from hot strip to nozzle and output voltage

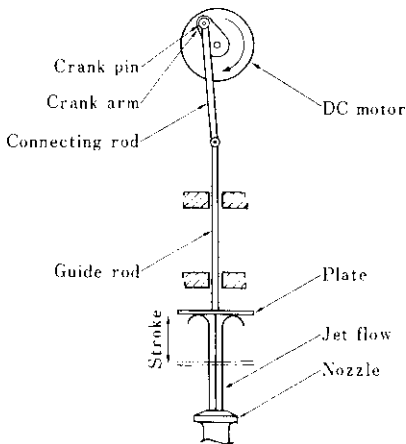


Fig. 10 Test apparatus for dynamic characteristic of nozzle flow

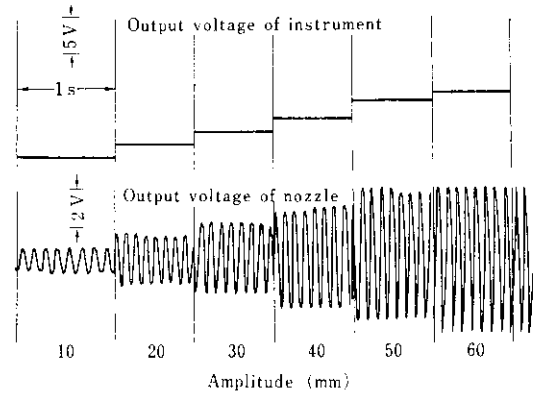


Fig. 11 An example of relation between amplitude and output voltage by fixing the cycle of up-and-down motion of strip and integral time

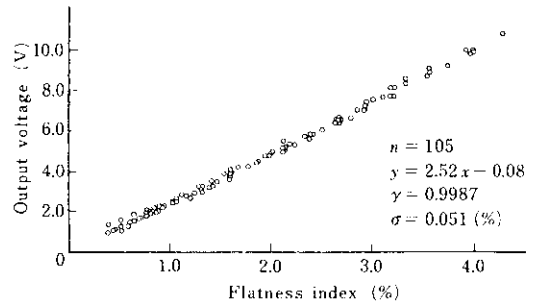


Fig.12 Relation between flatness index and output voltage of instrument on the basis of data changing cycle, amplitude and integral time

実測することは實際上不可能であり、また冷却後に実測することは、冷却ひずみ、クリープなどのために誤差が生じ無意味である。

この平坦度検出装置においては、Fig.13に示すような検定装置を用い、実際に鋼板が走行する状態を再現して検出精度を確認した。

この検定装置で円板の回転数、傾斜角 α および2本のノズル位置A、Bを変えて種々のデータを採取した。これらのデータを鋼板の走行速度と積分時間の関係を用いて平坦度に換算し、実際の鋼板の平坦度と対応づけた結果をFig.14に示す。

この結果によれば、平坦度すなわち急峻度差の検出精度は 1σ で0.11%であり、十分に実用可能である。

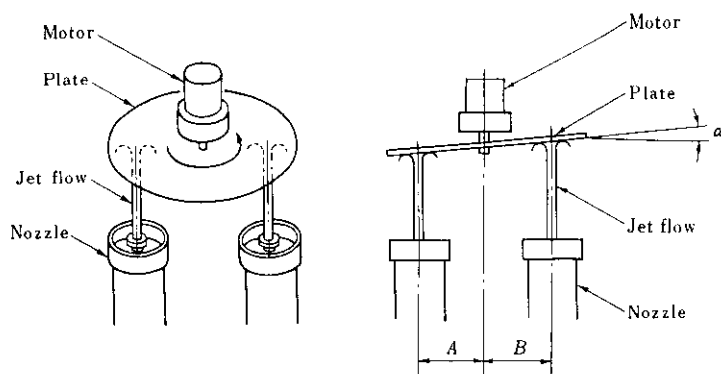


Fig. 13 Schema of standardizing apparatus for flatness measuring instrument

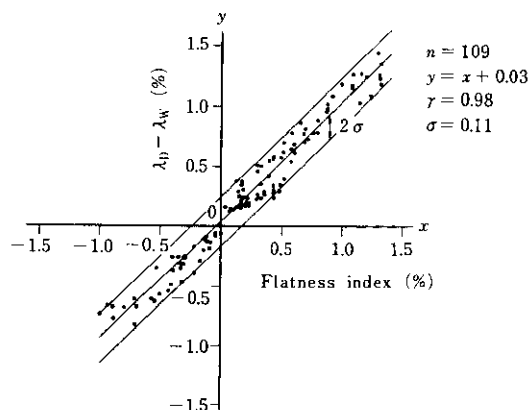


Fig. 14 Corresponding accuracy to actual instrument on the basis of the data from standardizing apparatus

5-3 オンラインデータとの対応

オンラインでの検出性能を確認するために、圧延機のロールベンディング圧力により、圧延中の

鋼板の平坦度を変化させて得た実験結果を Fig. 15, Photo. 3 に示す。

ロールベンディング圧力を高くした場合には、Fig. 15(a), Photo. 3(a)に示すように腹伸びとなり、逆に低くした場合には、Fig. 15(b), Photo. 3(b)のように耳伸びとなる。また Fig. 15(c), Photo. 3(c)は平坦な場合を示す。

これらの結果は目視判定と一致しており、オンライン測定においても良好な対応関係がある。

6. 結 言

水流の電気抵抗を利用した平坦度検出装置を開発し、熱間圧延における鋼板の平坦度を定量的に精度よく検出することを可能とした。

この検出装置の平坦度検出精度は、急峻度で 1σ が 0.11% である。現在熱間圧延工場において、

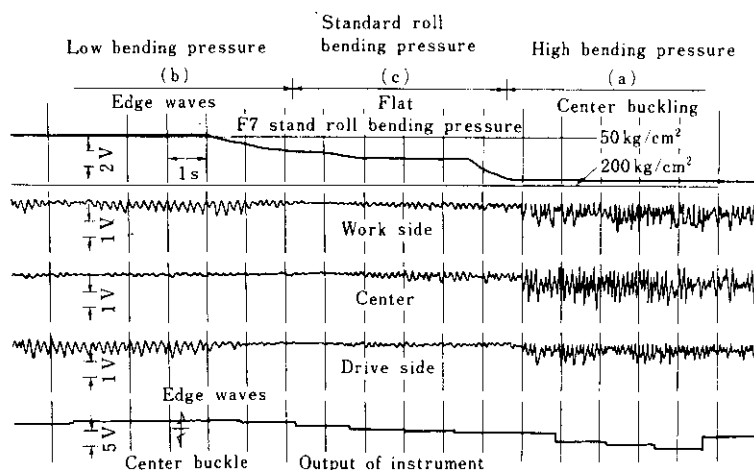
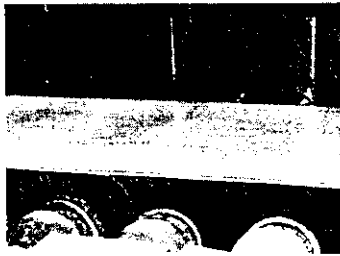
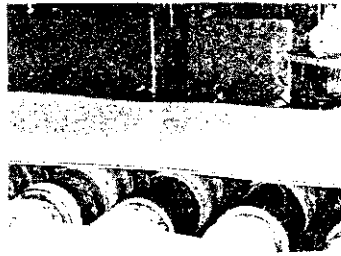


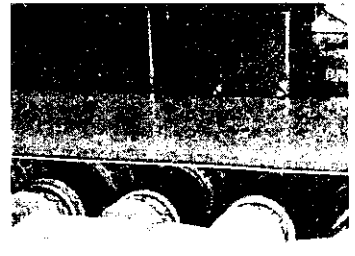
Fig. 15 Sensor output at exit of F mill by changing roll bending pressure



(a) Center buckle



(b) Edge waves



(c) Flat

Photo. 3 Typical examples of unflatness and flatness of hot strip

この装置を用いて苛酷な環境のもとで長時間にわたり安定して平坦度検出を行っている。平坦度の検出結果は、オペレータの平坦度制御に役立てられているとともに、冷却工程以降の平坦度変化および仕上圧延機における平坦度制御の研究に効果

的に使用されている。

今後、これらの研究成果をもとに、平坦度検出装置を用いた自動平坦度制御方法の開発に取り組んでいく予定である。

参 考 文 献

- 1) 石川島播磨重工業(株), 新日本製鉄(株): シェーブメーターについて, 第8回圧延設備分科会資料, (1973)
- 2) 岩脇ら: 金属, 43 (1973) 12, 38~41
- 3) 藤井ら: 第61回塑性加工シンポジウム, (1977), 5