平角寸法測定装置の開発

藤埴照実^{*1}，遠藤敏夫^{*2}，杉本保弘^{*3}

Development of Measurement System of Hot Billet's Size

Terumi Fujitsuka, Tosio Endo and Yasuhiro Sugimoto

Synopsis

In process of pre-finishing and finishing rolling, it is necessary to measure the width and the thickness for the control of roll gap and the quality guarantee of finished products. We have developed the measurement system of hot billet's size using optical instruments. It is possible to control automatically the rolling mill by these systems with a computer and gain the target finished size.

We are convinced that these systems will hereafter contribute toward the rolling

1. 緒 言

大同特殊鋼（株）星崎工場平角鋼片圧延ラインにおいて、仕上げ前および仕上げ後の寸法（いずれも巾と厚み）を熱間にて自動で測定する装置を開発したので紹介する。

これらの測定は仕上げ前では最終圧延ロールの間隙調整のため、仕上げ後では最終製品の寸法公差を保証するために必要不可欠である。

従来これらの測定は専用工具を用いて作業者の手によって行われていたが、自動化することにより下記の点が解決できた。

- （１）熟練度の差による個人誤差の解消
- （２）測定に必要な工程の削減（測定時のミルモータ停止など）
- （３）作業者の労働負荷軽減

また、将来これらの測定値をもとにして圧延ロールの間隙を自動調整するシステムへの発展も可能である。

測定方法は巾・厚み寸法とも光学式を採用した当社独自の方法であり設計に際してはとくに耐環境性（熱・塵など）に注意した。巾寸法測定機は現地設置後約2年になるが、現在も順調に稼働を続けており、また厚み寸法測定機はテスト運転中である。

2. 平角圧延設備の概要

平角圧延設備の概要をFig.1に示す。圧延設備は水平方向を圧延するHミルと垂直方向を圧延するVミルとから構成され、加熱炉から送り出された鋼片は、このHVミルを所定の寸法になるまで複数回往復圧延される。ここで開発した寸法測定装置はHVミルの前後に、温度計とともに設置して鋼片の寸法と温度を同時に測定するものである。

1997年5月29日受付

^{*1}大同特殊鋼（株）技術開発研究所(Research & Development Lab., Daido Steel Co., Ltd.), ^{*2}大同特殊鋼（株）技術開発研究所 工博(Dr., Eng., Research & Development Lab., Daido Steel Co., Ltd.), ^{*3} 大同特殊鋼（株）星崎工場(Hosizaki Plant, Daido Steel Co., Ltd.)

Fig. 1. Layout of HV rolling mill in HOSIZAKI plant.

3 . 測定装置の仕様

本測定装置の仕様をTable 1に示す .

Item	Width	Thickness
Size (mm)	50 ~ 510	5 ~ 150
Temperature ()	550 ~ 1000	550 ~ 1000
Accuracy (mm)	± 0.2	± 0.1

4 . 測定方法の検討

- 測定方法は下記の項目を考慮した .
- (1) 耐久性を考え非接触とする .
 - (2) 環境を配慮して鋼片の下部および上部1m以上離して装置を設定する .
 - (3) メンテナンスを配慮する .
 - (4) 安全性を考えた方式とする . すなわちX線などは使用しない .
- 以上の検討の結果から , 光学方式を採用した . 以下に巾測定装置及び厚み測定装置について詳細を述べる .

5 . 巾測定装置

5 . 1 測定原理と特徴

巾測定装置と測定原理の概念図をFig.2とFig.3に示す . 以下 , これらの図を用いて測定原理と特徴を述べる .

5 . 1 . 1 測定原理

測定対象鋼片の巾寸法範囲が50mm ~ 510mmと巾広い

Fig. 2. Measurement system of width.

ため , 1台の検出器で分解能を確保することは困難である . このため , 鋼片端部の位置を測定することにより , 鋼片巾を求める独自の方法を考案した .

測定装置は , 鋼片上面より約1mの位置に , 鋼片進行方向と垂直に設置したリニアレール , リニアレール上に設置した2台の鋼片端検出器 , 鋼片端検出器をリニアレール上で移動させるサーボモータ , などで構成されている . 鋼片端検出器は , 具体的にはCCD (Charge Coupled Device; 電荷転送素子) を用いたラインセンサである . ラインセンサはSi素子が直線的に複数個配置されたもので , どの素子が赤外線放射エネルギーを検知しているかによって端部位置を検出することができる . したがって , 鋼片端部をラインセンサの中央で検出するように , 検出器の位置をサーボ制御を行い , 検出器位置から巾寸法を求めるものである .

Fig.3をもとに , 鋼片巾の測定手順を具体的に述べると ,

基準ラインSa,Sbから鋼片端検出器までの距離aとbをリニアレールの出力によって検出し，ラインSaとSbの間隔L=600mmから鋼片の巾W(=L-a-b)を求めることができる．Table 2にラインセンサの特性を，Table 3にリニアレールの特性を示す．

Table 2. Characteristics of Line Sensor.	
Item	Characteristic
View (mm)	150
Precision (mm)	0.02
Sensing Time (msec)	2,4,8,16,32,64

Table 3. Characteristics of Linear Rail.	
Item	Characteristic
Stroke (mm)	400
Precision (mm)	0.02
Traveling Speed (mm/sec)	500

5.1.2 特徴

測定方法としての特徴は，原理の項でのべたように，鋼片端部位置を検出することによって，巾広い寸法範囲の鋼片巾を，精度良く測定できるようにした点が，最大の特徴である．

このほかに，幾つの特徴を備えているので，以下に主なものについて述べる．

(1)ラインセンサの視野は150mmであるが，常にラインセンサの中央で測定するようにリニアレールを制御することにより，レンズの球面収差が少なく，焦点深度も深くなり，精度の高い測定ができるようにした．

(2)ラインセンサは鋼片の放射エネルギーを直接受光しているが，鋼片の表面温度により放射エネルギーが大幅に異なるためラインセンサの受光時間を可変させることにより，常に最適な電気出力を得るようにした．なお，鋼片の表面温度が700 以下になると放射エネルギーは著しく低下するため補助的にハロゲン光を照射している．

(3)実際の測定では，鋼片は蛇行して搬送されるのが普通である．したがって，鋼片の進行方向はリニアスケールと垂直にはならない．そこで，Fig.3に示すように，本装置は端部測定用のラインセンサ， のほかに，蛇行角 を検出するラインセンサ を，鋼片進行方向にd=100mm離して設置した．

Fig.3より，蛇行角 は，

$$\theta = \tan^{-1} \{ (a-c)/d \} \tag{1}$$

よって，蛇行角 を補正した，鋼片巾Wは

$$W = (L-a-b) \cos \theta \tag{2}$$

となる．
Fig.4に巾測定装置の外観を，Fig.5にセンサ部を示す．

Fig. 4. Measurement system of width

Fig. 5. Line sensor and linear rail.

5.2 測定精度

巾寸法が高精度で測定された基準鋼片により校正した後，オンラインテストを行った．基準鋼片との差は，±0.05mm以下である．

Fig.6は熟練した作業者による専用工具での実測値と本測定装置の測定値の差を示したものであるが，いずれも±0.2mm以下である．Fig.7は走行中の鋼片の連続測定値と実測値を比較したものであるがその差はいずれも±0.2mm以下である．

5.3 耐環境対策

本測定装置は圧延ライン上約1mの位置に設置しており，常時鋼片の放射エネルギーにさらされて非常な高温になる．その対策として，測定装置を収納するケースを二重として断熱性を高め，さらに，工業用冷却機を本測定装置と接続し，測定装置内に設置した温度センサにより測定装置内部温度が，常に20～30 に収まるように冷却

Fig. 6. Measurement for stationary billets.

機を制御している。さらに、冷却機の故障なども考えられるため、測定内部温度が40℃を越えると警報を発する機能も持たせている。

6．厚み測定装置の概要

6.1 測定方法

厚み測定装置の測定原理をFig.8に示す。本装置は、平行光源部と受光部とからなり両装置を剛体上に固定したものである。

平行光源部ではHe-Neレーザ(出力5mW,波長633nm)から発生した光線を凹シリンジカルレンズで拡散し、アクロマティックレンズ(複数のレンズにより構成されレンズ周辺部において球面修差がない)により巾180mmの平行光線を得ている。この平行光線は、受光部までの距離が1000mmで、その範囲での平行度は常に $\pm 0.05\text{mm}$ 以内である。He-Neレーザの直後に対物レンズとスペシアルフィルタとが設置されているのは、レーザ光線以外の

波長の光線を除去するためである。当初、レーザについては、小型で軽量の半導体レーザを検討したが半導体レーザは高温(50℃以上)にさらされた場合に寿命が著しく低下するため採用を断念した。He-Neレーザを用いた場合、光源部の形状が大きくなるが、2枚の反射ミラーを用いて光路を180度反転させて小型化を図った。

受光部では鋼片によって遮断された平行光線の暗部をCCDラインセンサで検出して鋼片の厚みを演算して出力する。

平行光源部の出口および受光部の入口には、レーザ光線以外の外乱光の入射を防ぐため、光学フィルタが設けられている。

Fig.9およびFig.10に平行光源部の外観および内部を、Fig.11に受光部の外観およびセンサ部の写真を示す。また、Table 4にCCDラインセンサの特性を示す。

Fig. 9. Appearance of a light source.

上記の説明は鋼片と平行光源が平行の場合であるが実際の鋼片は圧延ライン上では捻れ(水平に対する傾き)ながら(最大角度5度)走行するため平行光線と平行にならない

Item	Standard Type	High-precision type
View (mm)	300	200
Precision (mm)	0.035	0.007
Sensing Time (msec)	2.5	0.5

い．そこで，何らかの方法で鋼片と平行光線とを平行にする必要がある．本装置ではFig.12に示すように通過する鋼片の下方約380mmの位置を支点として平行光源部と受光部を取り付けた架台をクランク機構で揺動する方式を採用した．

揺動角度は，鋼片が圧延ライン上のどの位置にあってても測定可能とするため，水平を基準にして上下に6度とした．

揺動速度はレーザやレンズなどに加わる加速度を最大3G(G:重力加速度)以下としたいので機械モデルによるシミュレーションの結果2.7回/秒となった．この速度は鋼

Fig. 12. Outside of thickness measurement system.

片の走行時の測定にも充分追従できる速度である．

6．2 測定精度

先に述べたとおり，鋼片に捻れがある場合の対策として，本装置では測定装置を揺動させる方法を採用している．この点が，本厚み測定装置の主な特徴の一つである．

Fig.13に示すように，平行光線と鋼片とが なる角度の場合において，鋼片巾と厚みを，それぞれ， W ， T としたとき，測定値 t は

$$t = W \sin \theta + T \cos \theta \quad (3)$$

となる．したがって，揺動させながら連続的に t を測定

するなら，角度 $\theta=0$ の場合に，測定値 t は鋼片の厚み T と一致する．言い換えるなら，揺動させて t の最小値を求めれば，その値が T となる．しかし，本装置はデジタル測定であるため，時間的に間欠，すなわち，データをサンプリングしているため最小値が得られる保証はない．

そこで，Fig.14に示すように，測定値 t （図中の ）から，二つの直線を最小自乗法で求め，その交点（図中の ）を鋼片厚みとする方法を採用した．この方法により，

Fig. 14. Method of high-precision measurement.

より高い精度で厚み寸法の測定を可能とした。本測定装置の精度として、常温の鋼片を用いたオフラインテストでは $\pm 0.1\text{mm}$ 以下であることを確認した。

本測定装置はオンラインにおいてテスト運転中である。その様子をFig.15に示す。

Fig. 15. Measurement system of thickness.

6.3 耐環境対策

鋼片の放射エネルギーに対する対策は巾測定装置と同様に二重のケースに収納し工業用冷却機を用いて内部を冷却している。しかし、厚み測定装置は光源部・受光部ともに鋼片に近い場合、異物(鋼片のスケールや水滴など)による光学フィルタの汚れは致命的である。そこで、本機は光学フィルタの前に、二重の耐熱シャッタを設け、測定時のみ開放し、その時にはさらに内部から外部に強力なエアを吹き出し、外部からの異物の進入を防止している。

7. 結 言

本測定装置によって、鋼片巾50～510mm、厚み5～150mmの測定が高精度で可能になった。今回紹介した測定装置は、方式は異なるが熱間において鋼片の寸法を測定する目的で開発された。今後、このような鋼片の測定は作業者の手を離れ自動化されるであろう。自動化された場合には、単に作業者の労働負荷の軽減にとどまらず、さらに発展させて上位の計算機と接続することにより圧延ロールの自動間隙調整や圧延履歴の管理など圧延技術の向上に大きく貢献できると考える。

また、今回開発した測定装置は応用範囲をさらに広げることにも可能である。たとえば、被測定物は角材の他に丸材や板材にも適用でき、厚み測定装置は現状の揺動装置を回転装置に変更することにより鋼片の形状測定も可能となる。

今回の開発が今後の圧延技術の発展に少しでも役立つことができれば幸いである。