

新日本製鉄 八幡製鉄所 芥田 友彦

1、緒言 鋼材圧延およびこれに関連した精整・検定などの作業には、材料・装置各部の寸法形状測定を要する場合が極めて多い。特に最近計算機制御を始めとする新技術の導入が盛になるに従って、操業上必要な寸法形状に関する情報の質的向上と、またユーザーから製品に対する寸法形状面の精度規格がますます厳しくなり、新しい計測装置の要請が高まっている。これらは熱間でも移動中の場合が多いため、オンライン測定を行って操業上有効に利用するには非接触で瞬時的に測定が完了することが望ましく、このため光電方式の測定装置が増しているが、高精度・高信頼度でも安価なことなどの諸条件を十分満足する装置は、現状ではまだ僅かしかない。

以下圧延各プロセスにおける主としてオンライン寸法形状測定の現状と問題点を考察し、併せて新たに開発した工業テレビ（ITV）による特殊デジタル計測方式を、厚板の熱間中切作業時の有効寸法形状オンライン測定に適用した実施例を報告する。

2、現状と問題点 分塊工場から次工程に送り出される中間製品は、一般に次工程工場との協議により取り決められた寸法形状の公差に入るように圧延される。製品圧延工程では諸規格・諸協定にしたがった寸法と形状に圧延し精整・剪断される。通常各工程で行われる寸法形状に関する管理項目を表1に示す。

表1. 圧延工程別寸法形状管理項目

表の管理項目の左上に実施程度を示す記号として、オンライン計測装置として既に十分実用化され市販で入手可能と思われるものに○印、一部実用化されているが更に性能の向上が望まれると思われるものに△印、試作品程度で今後の開発を待ち、現状では殆んど手作業による目視判断にたよっていると思われるものに×印を付けた。表にみる通り、圧延工程における寸法形状の測定は各所で開発が進められているにもかかわらず、いまだ現状は目視判断にたよっているものが多い。計算機制御システムの導入などにより諸情報が正確・迅速に処理されるようになったが、情報源である検出端の開発が追従できないのが現状で、急速な開発が望まれる。

工 程	管 理 項 目
分 塊	△厚み △中 ×長さ など
熱延帯鋼	○厚み ○中 ×キャンバー ×クラウン ○トップ形状 ×表面形状 など
厚 板	○厚み △中 ×キャンバー ×クラウン ×形状 ×直角度 △有効長 など
糸 鋼	△厚み △中 ×直径 ○長さ △断面形状 ×曲り など
線 材	△直径 ×真円度 など
鋼 管	×厚み ×直径 ×円周 ×真円度 ×曲り ×長さ ×端面角度 など
冷延帯鋼	○厚み △クラウン △耳波 △中延び △表面形状 △長さ など

上が望まれると思われるものに△印、試作品程度で今後の開発を待ち、現状では殆んど手作業による目視判断にたよっていると思われるものに×印を付けた。表にみる通り、圧延工程における寸法形状の測定は各所で開発が進められているにもかかわらず、いまだ現状は目視判断にたよっているものが多い。計算機制御システムの導入などにより諸情報が正確・迅速に処理されるようになったが、情報源である検出端の開発が追従できないのが現状で、急速な開発が望まれる。

1) 分塊工場、特にスラブの寸法測定装置としては、KELK社の回転ミラーを用いた光電走査による長さ・中計⁽¹⁾、CNRMが開発したレーザー利用の厚み計⁽²⁾、ASEA社及びKELK社の回転ミラー方式⁽³⁾などがある。KELK社、ASEA社の両社ともに精度は±5 mmとそれぞれ測定巾508~5080 mmに対し1~0.1%、CNRMの開発になるレーザー方式は約2.5 mmと報じているので、測定範囲約130~230 mmに対し1~2%となる。このレーザー方式はスラブの中央部の厚みを測り得るのが特徴であるが、さらに精度が向上すれば適用範囲が拡大されよう。

- 2) 熱延帯鋼圧延では、中計としてはGE社の光電方式、厚み計としてもGE社のX線透過方式が一般に広く使用されている。X線型の測定範囲は約1~50mm精度は約±1%以内で、これ以上の厚みはγ線を利用し、粗圧延機出側の厚み計として用いられる。γ線型の測定範囲は約4~50mm精度は約±0.5mmである。最近これらの計番について改良された点は、中計においては当初EXATESTに用いられた下部光源を、仕上圧延機出側中計にも一般に使用するようになったことと、厚み計については光電子増倍管と楔追従方式がイオンチャンバーと電気的偏差指示方式に変わったことで、いわばこれらが現在中・厚み測定標準方式となっている。しかしチャンバー及び形状検出については、仕上圧延機直前のグロップカット用形状検出装置が実用化されているほかは今後の課題であり、ロールベンディングによるシェープコントロール導入の気運とあいまって、これらの測定は一段と必要性を増してきた。
- 3) 厚板工場においては、中出圧延機用中計が用いられるが、本来この目的には形状検出機能を伴った有効最小巾を測定するの必要があり、さらに今後の開発が望まれる。仕上圧延機にはγ線を利用した厚み計が使用されるようになり、また剪断機については、後述するように工業テレビジョンを利用して有効巾の出た位置と、中切位置を計る切断長指示装置が開発されている。⁴⁾なお、熱延帯鋼の圧延と同様にロールベンディングによるシェープコントロール機能の導入気運にあるので、チャンバー及び形状などの測定装置の開発が待たれる。
- 4) 条鋼工場においては、長さ測定が重要項目で、この目的には光電素子配列方式(粗・密割尺式⁵⁾を含む)のほか、USスチールの速度と時間から長さを算出する方式⁶⁾、すなわち光電検出器により距離 l の基準2点間を先端が通過する時間 t と、基準点を全長が通過する時間 T とから全長 $L = (l/t) \times T$ を算出する方式が用いられる。この変形として精度を上げるために接触式メジャリングロール(MR)を併用して端数長を測るもの、さらに端数長を基準2点間通過時間から求めた速度と基準点通過時間とから算出する方式⁷⁾などが試みられている。これらの方式は何れも雰囲気を含めた光電検出の信頼度に大きく影響され、また条鋼の先端形状・曲りなども考慮する必要がある。長さ測定のほか管理項目として、厚み・巾・高さ・直角度・曲りなどがあり、H型鋼ではγ線フレンジ・ウェブ厚み計、光学的フレンジ中測定⁸⁾、接触式形状測定などが一部で実施されているが、一般条鋼では比較的オンライン計測が遅れている。
- 5) 線材工場は、圧延機出側での直径⁹⁾と真円度の走間測定が重要で相当以前から試みられているが、多方向から計る必要上機構上複雑になり精度・信頼度と価格面の問題等からまだ十分に実用化がなされていない。
- 6) 冷延帯鋼関係では、在来PRATT & WHITNEY社のフライングマイクロメータが厚み計として広く使用されてきたが、圧延速度の上昇にとまらぬ、一部の処理ラインなど比較的低速の場合に限られるようになり、一般には放射線利用の透過型厚み計が広く用いられるようになった。冷延帯鋼圧延では熱延帯鋼圧延機と同様にGE社のX線厚み計が広く用いられる。また放射線厚み計を板巾方向に走査してクラウンを測定する方式が一部使用されている。板の形状測定・制御は品質上

特に重要であるが、張力の加わる場合には潜在的な形状不良の検出すなわち板巾方向の張力分布測定が必要である。そのためBISRA, J&Lの磁気方式, ブライドルロールに受圧部を組み込むVDEH, ASEA方式などがあるが、前回の討論会に詳細に述べられている。⁽¹⁰⁾

表2. 寸法形状測定手法別分類

大分類	中分類	小分類
接触型	回転方式	メジャーブロー法: 全長測定式・端部長測定式・スリッパ補償式
	変位検出方式	接触ロール法・接触桿法・ストップ法
	(超音波方式)	(パルス法・共振法)
	(磁気方式)	
非接触型	(光学方式)	
	光電方式	機械走査法: アナログ式・デジタル式 光電素子配列法: 副尺式・速度-時間演算式・MR併用式 ITV法: 時間走査式・空間スケール式 レーザー法: 三角測量式・位相式・(パルス式)
	放射線方式	X線法・β線法・γ線法
	電磁波方式	マイクロウェーブ法: 位相差式 ⁽¹¹⁾ ・共振式 ⁽¹²⁾

以上は圧延プロセスの工程順に寸法形状測定概况と問題点を述べたが、これを測定手法別に分類し直してみると表2のようになる。

表中()をつけたものは、オンライン計測器としては実用化されていないもの、または開弁の段階にあると思われるものである。

3. ITVによる厚板有効寸法の測定 以上述べたように高精度・高信頼度の新測定装置開発の要望に応じて各所で開発が推進されているが、当所ではITVを利用してデジタル的に精密計測する方式を開弁し、厚板の熱間中切(ホットシヤー)時に有効寸法形状のオンライン測定に実用して効果をあげたので、その概要を報告する。

1) 目的 八幡厚板工場においては数年来長尺圧延を行っているが、トランスファーテーブルの寸法制限のため仕上圧延後ホットシヤーを行っている。鋼板端部がフィッシュテイル状をなしているため、中切りするには板の先端部でなく所定の中になった位置から所定の長さをとって、即ち有効形状(中・長さ)を判定してその位置で剪断することが必要である。この作業は目視判断では極めて困難で剪断ミスの恐れがあるため、ホットメタルデテクター(HMD)とMRからなる測長装置や監視用テレビなどの補助測定器が設置されたが、精密計測がとぎず歩留向上が望めないため、走行中に厚板の有効中・長さを計る非接触自動精密測定装置が必要となった。

2) 有効形状の測定方式 有効中・長さの測定は、計画当初、ともに後述するITVによる非接触測定を予定したが、試験検討の結果長さについては既設のMRが要求精度を満足したのでこれを活用することとし、有効中の測定にITVデジタル計測方式を採用してフィッシュテイル部の形状を非接触判定することとした。

図1に示すように、フィッシュ

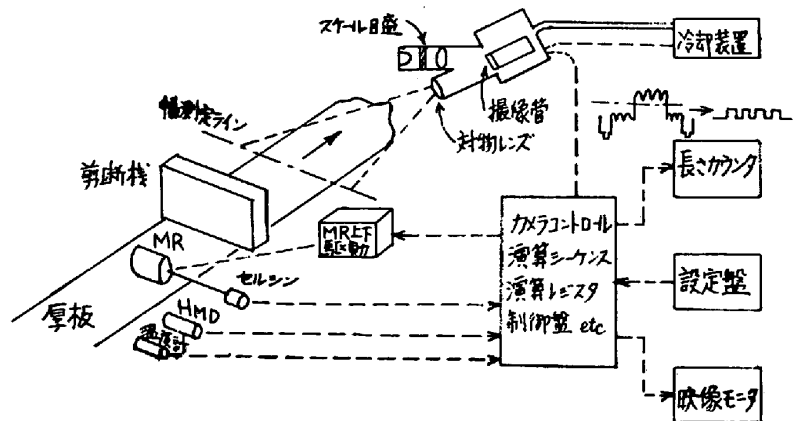


図1. ITV厚板有効寸法測定装置原理図

テイル状の鋼板がHMDを通過すると、MRは下降して鋼板に接触し回転を開始する。鋼板が中測定ラインに達すると、ITV方式により連続的に中測定を行ない、この値が予め設定した所定の値に一致すると長さ計測部はMRの発生するパルスの計数を開始し、設定値で設定された所定の長さに達すると剪断の指示を出す。

3) ITVによるデジタル寸法測定方法の特徴

(a) 高精度デジタル計測 ITVによる寸法測定は従来にもあるが、⁽¹³⁾これらは撮像管で光電変換する際の偏向歪によって通常の電磁偏向では5%以上、特殊静電偏向によっても1%程度の誤差が不可避で、高精度の測定には向かない。この偏向歪を避けるため図1に示すように、撮像管の光電面に被測体の像と、別の光学系から投影するスケール目盛の像とを重ねさせ、その映像信号を処理して被測体の寸法に相当するスケール目盛パルスを計数するデジタル計測方式を考案した。すなわち偏向歪は被測体の像とスケール目盛の像とに同様に作用する結果、互に相殺して歪誤差は全く免れることができる。したがって光学系の歪さえ十分小さくすれば、テレビの分解能の限度まで利用しうる高精度(視野の約1/400)の計測が可能となり、基礎開発を行った上で実用化した。⁽⁴⁾

(b) 走行中計測 通常のITV撮像管(ビジコン)は残像特性があるため、走行中の厚板の計測はできない。そこで国産で新しく開発された無残像型高感度撮像管(イメージディセクタ)を採用し、走行中測定を可能とした。

(c) 自動温度補償 剪断機を通過する厚板の温度は400~1000℃と変動するため、温度のばらつきに対する寸法補償が是非必要となる。このため比較的簡単な構成で精度の高い自動温度補償回路を開発して実用化した。

(d) 最適剪断位置の指示 設定値にプリセットした所定中・長さに対するそれぞれ巾入れ(余裕代)・巾入れ量などに応じて計測値を自動演算し、最適剪断位置は零指示方式によって運転マンに見易く表示する。将来コンピューターによる自動設定および自動剪断も可能である。

(e) 自動輝度補償 厚板の温度・材質により表面輝度が著しく変化するため、ビデオ信号レベルが変動して測定が不安定となる。この対策として簡単に効果のある特殊自動ゲイン調整(AGC)回路を開発して解決した。

(f) デジタル垂直偏向 計測時にはITVは2次元の画像を観測する必要はないので、200 Hzの線走査を行う。この線走査位置の安定をはかるため、撮像管の垂直偏向にデジタル偏向方式を採用した。

4) 使用結果

ITVによるデジタル計測方式は昭和42年には基礎開発を終了していたので、これを厚板有効形状測定に適用して設計製作し、据付後輝度補償などの小改造を含めて44年8月に全装置の調整を完了した。以来良好な稼働成績を示し、有効寸法計測精度向上による長さ余裕代の節減によって中切適用厚板について歩留が約1%近く向上し、また走行中にフォッシュテイル部の有効巾位置を自動判定できるため目視作業時より巾判定時間が短縮されて作業性を向上し、将来コンピューターによる自動設定と併せて自動剪断の可能性を生じた。

計測精度の確認試験は、それぞれ巾・長さに対する標準サンプルを使用して計測値と比較する静的試験と、実作業における実動試験とに分けて実施した。試験結果は誤差の標準偏差で巾4100mmに対し11mm(1/410)長さ25000mmに対し15mm(1/1660)となり、要求を満足した。さらに目盛スケールの解像度改良により精度向上の余地がある。

なお、本装置の有効巾計測部は、当初剪断機の後面に設置されていたが、厚板工場内の処理工程

変更のため切断機前面に移設し、併せてさらに精度向上とクランプ切断などの他の機能も持たせるよう改造中である。

このITVデジタル計測方式は当所と浜松テレビ(株)との共同開発によって完成されたが、この方式は厚板の熱間形状測定に限るものではなく、冷材は勿論、一般に高温の移動物体を非接触で精密測定できるので、広く各種の寸法形状測定に応用することができ、新用途を開発中である。

参考文献

- (1) Walter Dougherty : *Iron and Steel Engineer*, Aug., 1967, P.96
- (2) R. Pirlet, Y. Noel : *Instrumentation Technology*, June, 1969, P.43
- (3) A. C. Shyn : *Iron and Steel Engineer*. Aug. 1969, P.59
- (4) 芥田ほか : 特許公告 昭45-015645
- (5) 日本鉄鋼連盟 : 鉄鋼国際オートメ会議(1965)およびヨーロッパ鉄鋼業オートメの現状, 1965.5, P.166
- (6) D. W. Pias : 特許公告 昭39-688
- (7) K. J. Hofmeister : US Patent No. 3,428,817, Feb. 18, 1969
- (8) 東京光学 : 製品カタログ
- (9) *Iron and Steel Engineer*, Sep, 1970, P.116
- (10) 吉谷 : 鉄と鋼 第80回講演大会概要集, 1970, No.11, P305
- (11) B. L. Dalton (BISRA) : 鉄鋼国際オートメ会議(1970), 論文E-101
- (12) 曾我ほか : 鉄と鋼 第80回講演大会概要集, 1970, No.11, P.197
- (13) ソ連特許 No. 150889 , 神戶工学 : 実用新案公告 昭40-20373