

最近の技術から

鉄鋼製造における光計測(1)—表面検査

益子 羊了

新日本製鉄(株)第一技術研究所東田分室 〒805 北九州市八幡東区枝光 1-1-1

1. はじめに

鉄鋼製品には厚板, 薄板, 棒, 線, 形鋼などがあり, そのいずれもが表面品質が重要な管理項目になっている。それには, 表面きず, 表面粗さ, 光沢, 形状(平坦度)などがあるが, ここでは自動車, 家電などに大量に使用されている冷延鋼板の表面きず検出技術について概観する。

冷延鋼板の表面きずは, 現状では鋼帯(ストリップ)を低速で通板しながら, 検査員が目視検査を行なっている。目視検査はいわゆる官能検査であり, 検査速度が制限されるだけでなく, 検査員の個人差や各人の体調等の影響も避けられない。また鋼板の目視検査は目の酷使, 精神的緊張を伴い, 労働衛生上好ましくない作業といえる。

以上の点から表面きずのオンライン計測化が進められてきた。目視検査の特徴として, 「(a)微小な欠陥や微妙な色調の変化などを敏感に識別する(分解能が非常によい)。(b)欠陥の有害性, すなわちきずの種類, 大きさ, 分布など, から総合的な判断を行なう」ということがある。また目視検査を機械化するからには, 検査の高速化(ラインによるが, 400 m/min~1,500 m/min)が達成されなければならない。以上の観点から, 最近報告されている冷延鋼板表面きず検出装置の実例をもとに, 検出系と信号処理系とに分けて, 見ていくことにする。

2. 検出系

検出系としては, 高い分解能を得るために走査方式が一般的で, 照明+固体イメージセンサ, フライング・スポット+光電子増倍管などが採用される(前者は視野が, 後者は光スポットが鋼板上を走査する)。図1はフライングスポット方式の一例¹⁾で, 回転鏡回転数: 24,000 rpm(空気ベアリング使用), 面数: 12, 光スポットの幅×長さ: 1 mm×3.5 mmである。表面きずには光を偏向または散乱させるもの(凹凸など)と光を吸収するもの(汚れなど)とがあり, きずによって特定の方向から

観察したほうがよく見えるものがある。そのため, この装置では鏡面反射位置(反射角 15°), それから 7° および 23° 傾けた位置に検出素子(光電子増倍管)を設けている。これにより特定きずに対する検出能力を高めると同時に, 後の表面きず種類判別のための特徴抽出の手段としている。また円筒鏡を設けることにより, 反射光が光電子増倍管に集光するようにしてある。このような構成で, 光スポットが鋼板全面を走査するためには, 鋼板速度 ≤ 光スポットの長さ × 回転鏡回転数 × 回転鏡面数である必要がある。また, 受信系の帯域 ≥ 走査速度 / (表面きずの幅または走査する光スポットの幅のいずれか大きいほう)(ただし, 走査速度 = 走査幅 × 回転鏡回転数 × 回転鏡面数)でなければならない。この例では, 上式を当てはめると, 鋼板速度 ≤ 0.0035 m × 24,000 rev/min × 12 = 1,000 m/min 受信系の帯域は鋼板幅を 1.5 m とすると, 7.2 MHz となる。このことから, 小さい表面きずを検出するために, 検査スポットを小さくすることは, 回転鏡回転数, 受光素子の周波数特性などにネックがあることがわかる。

3. 信号処理系

受信信号の変化は鋼板の反射特性の不連続を示しているが, かならずしも欠陥の有害性に比例した信号になっていない。そのため, 欠陥の種類によって欠陥検出能力に差が生ずる(図2参照)。したがって検出しにくい欠陥を検出しようとして欠陥検出のしきい値を下げると, 無害な鋼板上の不連続も検出してしまう。とくに鋼板は防錆のため塗油されるから, その塗油ムラが欠陥として検出されてしまうことになる。したがって受信信号の波高弁別により欠陥を検出するのではまったく不十分であり, どうしても欠陥の種類を判別し, 各欠陥ごとにしきい値を設定していく必要がある。そのためには, 受信信号から光学的特徴(吸収欠陥, 散乱欠陥など)および欠陥の形態的特徴(点状, 線状, 面積状など)を抽出して, それに基づいて欠陥の種類を識別していく。

図3はその一例であり, 受信信号の原波形(鏡面反

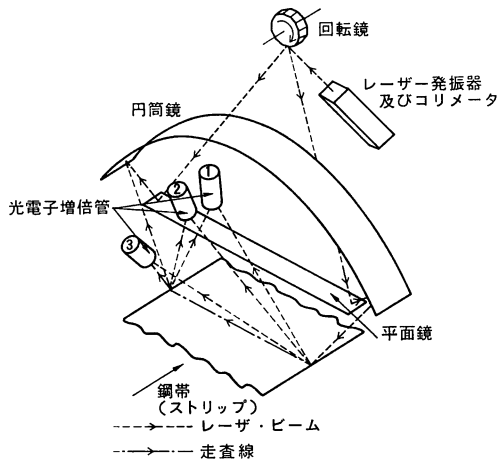


図1 フライング・スポット方式表面きず検出装置検出部例¹⁾

きず形態	きず名称	きずの程度	
		重	軽
点状欠陥	ロール・マーク	[Hatched bar]	
	ヘゲ	[Hatched bar]	
線状欠陥	スリパー	[Hatched bar]	
	かききず	[Hatched bar]	
面積状欠陥	錆	[Hatched bar]	
	汚れ	[Hatched bar]	

図2 表面きず検出能力²⁾

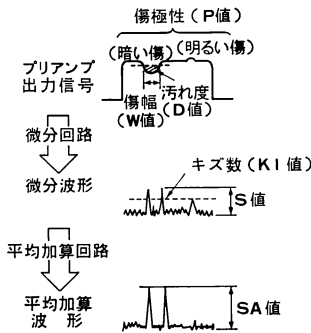


図3 時間領域での特徴抽出²⁾

射) からきずの極性, きず幅, 汚れ度, その微分波形からきずの波高値 (S 値), きず数 (KI 値) (点状欠陥が群集している場合, その数が増えるほど, この値が増加する) および同期加算波形から平均加算波高値 (SA 値) (線状欠陥の S/N の改善) を得ている。このような方法は一般に典型例ではうまくいくが, 自然きずに対しては若干無理がある。すなわち表面きずはもともと2次元なものであり, 2次元的な処理が自然である。図4はその例であり, 1次元の受信波形から2次元的な画像を再構

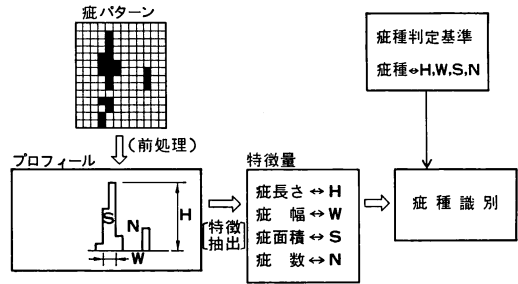


図4 2次元画像からの特徴抽出³⁾

成し, それをもとにきずの長さ, 幅, 面積などの特徴パラメータを抽出している。さらに2次元フーリエ変換などにより特徴抽出することも行なわれているが, 適用される信号処理が高度になればなるほど, 処理時間がネックになってくる。

表面きずの種類と抽出した特徴パラメータとの関係は, あらかじめ判別分析などの手法で分析し, きず種類判別アルゴリズムをつくる。実際のラインでは, このきず種類判別をソフト的に行なわせるのは時間的に苦しく, 樹枝状論理などでハード的に構成することが多い。

4. 今後の課題

鋼板表面きず検出装置は検査員と相補うものとしては十分使えるものとなった。しかし検査の自動化となると, まだ欠陥検出能力, きず種類判別能力とも不十分である。現在の欠陥検出能力は検出すべき欠陥に対し65~80%である²⁾。これは検出しにくい表面きずが全体の検出率を下げていることから, それらに適した専用の表面きず検出装置の開発を進めるべきであろう。

欠陥種類判別については, 処理時間が極端に制限されるから, できるかぎり前処理工程で情報量の縮減を行なうのがよく, 光領域での信号処理の開発が望まれる。

文 献

- 1) W. J. Hill, L. Norton-Wayne and L. Finkelstein: "Signal processing for automatic optical surface inspection of steel strip," Trans. Inst. Meas. Control, 5, 3 (July-Sept. 1983) 137-154.
- 2) 河原 孝, 益子羊子, 片野征夫, 平野真之助, 大村保弘, 小崎義忠: "薄板の表面きず検出システムの開発", 鉄と鋼, '82-S 407 (1982) 83.
- 3) 長尾幸男: "レーザー光を利用した表面きず検査装置―回折パターンの利用と高速きず形状認識―", 学振協力会報, No. 41 (1984) 19-22.

(1985年7月29日受理)