金属素材の表面欠陥検査*

中井 康秀**

Surface Flaw Inspection for Metal Material / Yasuhide NAKAI

Key words : flaw detection, laser inspection, laser diffraction pattern analysis, image processing, feature extraction, hot steel slab, diamond turning

1. 緒 言

鉄鋼をはじめとする金属素材産業において、検査の自動化は、品質、歩どまり、生産性の向上につながるため、重要な課題の一つである。そのため、これまでに多くの開発が行われてきた。

しかし、その中で表面欠陥検査は、人間の高度なパターン認識の代替としての性格を持っており、自動化が遅れている。自動化が難しい理由は、(1) 欠陥の形態が多様であり、検出アルゴリズム決定までに多くのサンプルテストを繰り返す必要がある、(2) 検査面の大きさに比べて、欠陥サイズが小さく、膨大な画像情報を高速で処理する必要がある、(3) 欠陥の有害度と信号の強度が必ずしも対応せず、欠陥の種類を識別した上で有害度を判定しなければならないことなどである。

ここでは、欠陥の種類を識別を中心に、金属素材産業における光学的表面欠陥検査に関して、検査手法、開発事例を紹介し、今後について展望する。ナノテクノロジーとは言いがたいところもあるが、スケールファクタを除けば共通の問題も多いと思うので参考にしていただければ幸いである。

2. 検査手法の概観

検査装置は、一般に走査・検出系と情報処理系に分けられる¹⁾。走査・検出系は、走査、照明、受

光角の方式から、表1のような方式が採られている。図1に、フライングスポット方式の走査検出系の例²⁾

表1 光学的表面欠陥検査装置の走査・検出方式

項 目	方 式	備 考
走 査	フライングスポット フライングイメージ	レーザ CCD, ITV
照 明	アクティブ パッシブ 組合せ	レーザ、水銀灯 自発光 多 色
受光角	正反射光 乱反射光 回折パターン 組合せ	空間フィルタ マルチセンシング

図1 フライングスポット方式の走査・検出系

* 原稿受付 昭和62年6月11日

** 正 会 員 (株)神戸製鋼所(神戸市中央区脇浜町1-3-18)

を示す。

情報処理系では、前処理として、感度の補正や帯域制限、量子化などが行われる。主処理では、前処理データから欠陥の抽出がなされる。さらに、欠陥の種類を識別する必要がある場合は、適当な特徴量を求め、特徴空間内の位置や、デンジジョントリーによって判断される。特徴量の求め方は、千差万別であ

て、一定区画ごとに画像信号の投影を求め、基準レベル以上の信号の個数、最大値、幅などを特徴量としているもの(図2³⁾)、散乱角度の違う複数の信号を複数の帯域フィルタに通し各々の出力を特徴量とするもの²⁾、2次元フーリエ変換によって求めた空間周波数空間での強度を使うもの⁴⁾、輪郭による形状パラメータを用いたもの⁵⁾などがある。

一般に、前処理はハードウェアで、主処理は、ソフトウェアで処理されることが多いが、処理速度を上げようとする、ハードウェアの構成を多くせざるを得ない。

3. 赤熱鋼片表面の検査

省エネルギーを目的とした鉄鋼の熱間直送圧延では、従来の冷間で行っていたキズ見・キズ取りに代わって、赤熱状態の鋼片を検査し、直送可否の判定をする必要がある。そのため筆者らは、分塊圧延後のスラブの赤熱画像をイメージセンサでとらえ、リアルタイム処理することによって、種々の欠陥を検出する表面検査装置を開発した⁶⁾。ここでは、その中で根つきヘゲとよばれる欠陥の識別について説明する。

図3に各欠陥の断面と赤熱画像の映像信号を模式的に示す。ヘゲとは、表面がかさぶた状になった欠陥で

図3 各種欠陥の断面と赤熱画像の映像信号

図4 映像信号の幅と高さによる欠陥の抽出

あり、剥離している部分が冷却され周囲に比べて黒く見える。根つきヘゲは、母材に深く食い込んだヘゲであり、より有害であるにもかかわらず、通常のヘゲほど黒くならず、振幅の小さな信号となっている。

そこで、図4に示すように、温度むらなどの背景ノイズを除去した後、映像信号が基準レベルより下がる部分について、その幅と高さを調べ、両者で作られる特徴空間の中での位置によって、ヘゲと根つきヘゲを識別する方法を採用した。図のように、根つきヘゲとヘゲでは分布が異なり、図中の破線で示す境界線で2値化をするとS/N良く分離できる。ノイズとしてスケールの信号が混ざってくるが、この処理に続く平面的なつながり状態の判定によって取り除くことができる。

図2 投影による特徴量の抽出

4. 超精密加工面の検査

ダイヤモンド切削をはじめとする超精密加工面の品質は、加工技術の進歩とともに年々向上しており、検出すべき欠陥の大きさは目視限界近くになってきている。レーザビームなど強度の高い光を照射して、表面での散乱光を受光することにより約 $0.1\mu\text{m}$ 径の異物まで検出できるが、欠陥の種類やはこりとの識別ができないなどの理由でまだ目視検査が主流である。

そこで筆者らは、レーザを照射したときの回折パターンを解析することによって欠陥の種類を識別する方法について検討した⁴⁾。よく知られているように、レーザの回折パターンは、照射した面の微細構造のフーリエ変換像を表している。超精密加工面は鏡面に近いため、一見回折パターンが存在しないように見えるが、正反射ビームを遮光すると欠陥に起因する回折パターンがわずかに観測される。

図5は、正常面、押込みと呼ばれる点状欠陥、筋、スクラッチなどの線状欠陥、工具の送りマークである周期性欠陥の顕微鏡写真と回折パターンである。これらの回折パターンを、図6に示すようなウェッジ状アレイとリング状アレイを組み合わせたセンサで検出すると、欠陥の空間周波数と方向が認識できる。図の出力は、線状欠陥の例である。リング状アレイセンサの中央部(1~18ch)は、前述のように遮光されている。

これらの信号パターンの特徴を数値化するためリング状およびウェッジ状センサの出力列それぞれについて最大値と半値幅を求め、それらの比で作られる特徴空間で上記欠陥をプロットすると図7のようになる。破線の領域で分割することにより3種の欠陥が識別できることが分かる。

図5 超精密加工面の欠陥とレーザ回折パターン

図6 ウェッジリングディテクタアレイと線状欠陥の回折パターンに対する出力

5. 結 言

表面欠陥検査の自動化を考える場合、目視検査員の欠陥識別方法を十分取り入れて行かなければならない。したがって、今後の走査・検出系では、方向や色

I_{WP}/N_W : ウェッジディテクタの最大値/半値幅
 I_{RP}/N_R : リングディテクタの最大値/半値幅

図7 超精密加工面の欠陥の識別

の異なる情報の採取，高分解能化，高速化が課題となる。

情報処理系では，マルチ CPU タイプやデータフロータイプの計算機を使った大容量の並列高速処理が課題となる。また，欠陥の形態は，生産プロセスの改

善と共に変化するため，目視検査員の判断を並行して入力し，検出アルゴリズムの確認と更新ができる学習機能を付加する必要がある。

さらに，多次元情報を基にして，目視検査員の知識を効率的にインプリメントできる欠陥識別アルゴリズム構築用エキスパートシステムの開発が望まれる。

参考文献

- 1) 益子羊了：鉄鋼製造における光計測 (1)——表面検査，光学，14，6 (1985) 480.
- 2) W. J. Hill et al.: Signal Processing for Automatic Optical Surface Inspection of Steel Strip, Trans. Inst. M. C., 5, 3, (1983) 137.
- 3) 長尾幸男：レーザ光を利用した表面キズ検査装置，学振協力会報，41 (1984) 19.
- 4) 岩崎全良ほか：微小欠陥の検出と欠陥種類の識別，第1回産業における画像センシングシンポジウムテキスト，10-1 (1986) 327.
- 5) B. R. Suresh et al.: A Real-time Automated Visual Inspection System for Hot Steel Slabs, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-5, 6, (1983) 563.
- 6) 岩崎全良ほか：リアルタイム画像処理を用いた赤熱分塊スラブの自動探傷装置，鉄と鋼，70，9 (1984) 1194.

特許庁，発明の出願動向発表

特許庁は，このほど発表された昭和61年版特許庁年報において標記の件についてまとめている。

昭和61年の出願は特許32万89件，実用新案20万4200件，意匠5万2636件，商標16万8890件で，総計74万5825件で過去最高であった。

特許，実用新案の出願傾向は，①遺伝子工学が依然増加の傾向にある，②高分子分野では特殊用途を志向する機能性高分子が増えている，③通信技術ではファクシミリ，データ，音声などをまとめて交換する複合交換方式に関するものが目立ってきている。

以下，加工技術，計測，機械要素関係については下記のとおり。

金属加工関係の出願は，全体的には伸びが鈍化してきているが，圧延・押抜き等の素材加工及び溶接関係においては依然増加の傾向にある。鋳造関係においては，薄板の連続鋳造に関する出願が増加している。そして技術内容からみれば，いずれも自動化及び連続化をめざしたものの出願の増加が著しい。

素材加工関係のうち，圧延部門では，圧延時に生じる形状不良を最小にする技術に関する出願が中心であるが，連続鋳造と圧延の両工程を合理的に結びつけ一層の省エネルギー及び連続化を目指した技術や大型素材（スラブ・ビレット）の強圧下加工の技術に関する出願も増加している。他方，圧延時の冷却，潤滑，脱スケール等

の補助的技術に関する出願は著しく減少している。全般的には出願の技術テーマは分散化しつつある。板・棒・管の矯正，曲げ，押抜き加工分野は依然としてかなりの増加傾向にあり，加工工具交換のための装置器具関係，ワークの加工位置への搬入・搬出の自動化，精度向上等に関する出願が増加しており，特に自動制御のためのソフトウェア的なものが目立つようになった。押し出しや引抜きに関するものでは，回転ホイールを使用し，材料を連続的に押し出す，コンフォーム型連続押出法の出願が増加しており，生産性向上の観点から注目されている。また，製品の加工に関する出願は，形状，寸法精度の向上や，歩どまりの向上，自動化による生産率の増加に関するものが多く漸増の傾向を示している。

鋳造部門では，鋳型材料，造型技術に関する出願は全体に目立った動きを見せていないが，内容的には凍結造型法や静圧造型法等の新造型法のほか，造型・鋳造ラインについての自動化，省人化に関する出願が多くなっている。

一方，連続鋳造については，ツインロール法，ツインベルト法，無限軌道法など，今後の実用化が期待されている薄板製造技術に関連する出願が増加している。製品の鋳造に関するものは，ダイキャスト関連が多く，特に繊維材等の強化材との複合化技術に関する出願が増加傾向にある。
 (p.1202へ続く)