丸棒鋼用自動磁粉探傷装置の開発

市岡雄二*

Development of Automatic Fluorescent Magnetic Particle Inspection Equipment for Round Steel Bars

Yuuji Ichioka

Synopsis

Recently customers have required round steel bars assured of the surface integrity. In order to fulfil such requirement, a new quality assurance system has been developed and already installed in the shop. It consists of a computerized flaw detector through fluorescent magnetic particles and a fully automatic grinding machine.

At first the particle distribution is taken by CCD cameras. This image is processed and diagnosed by computers and then the surface defects are mapped out into the memory.

Later they are removed from the surface through a grinding machine controlled by the computer.

Employing the new system, round steel bars are guaranteed from the surface defects 0.1mm or more deep.

1. はじめに

近年、黒皮圧延丸棒鋼用の渦流探傷法・漏洩磁束探傷法など表面疵自動探傷装置は検出性能・処理速度などの面で急速に進歩し、品質保証の信頼性・生産性向上に大きく寄与している。

しかしながら、表1に示すように需要家の品質要求がますます多様化・高度化し、冷鍛材など過酷な用途の素材については0.1mm程度の浅い表面疵さえ許容されなくなっている。そのため、検出性能の面から旧来の磁粉探傷法による低能率な

目視検査を余儀なくされていた。

そこで大同特殊鋼では、表面疵検出レベルの最も優位な磁粉探傷法による自動化システムとこれに接続する自動疵取装置を開発し、高精度でかつ高能率な表面疵検査から疵取までの自動システムを完成させた^{1)~3)}。本稿ではこの自動磁粉探傷・自動疵取装置について報告する。

2. 設備概要

2.1 ラインレイアウト

図1に自動磁粉探傷装置及び前後装置のレイアウトを示す。より高い表面疵の検出性能を得るため、探傷前にショットブラストによるスケール落とし及び2ロール矯正機による曲り矯正を実施し被検査材の表面性状を整えている。

1992年7月29日受付

*大同特殊鋼知多工場

表1 品質要求レベルの変化¹⁾

項 目		要求レベル		備 考
		従 来	現状(最も厳しいもの)	
表面疵	冷温鍛品	0.20mm 以下	0.10mm 以下	加工度向上 閉塞鍛造化 精密鍛造化
	歯出鍛造品	—	0.10mm 以下	
	熱鍛品	0.30mm 以下	0.15mm 以下	精密熱鍛化
	切削品	寸法公差内	寸法公差内

図1 ラインレイアウト

本自動磁粉探傷装置（以下自動磁探機）は、磁化部で磁化した被検査材を水洗後 CCD（Charge Coupled Device）カメラにより撮像し、この情報を信号処理した後に自動疵判定を行い、良品材と要疵取材とに弁別する。良品材はそのまま出荷検査を実施し入庫となる。要疵取材は本装置の直後に配置された自動疵取装置により疵を研削除去し、さらに再検用磁粉探傷装置に送られ残存疵や取り残し疵を目視検査により再検し、その後手直しして出荷検査後入庫となる。

従来は能率の異なる個々の設備がバッチ的に配置されマテハンが多く物流を著しく阻害していた。本ラインではショットブラスト、矯正機、超音波探傷機、自動磁探機、疵取機、再検用磁探機、入庫までの全設備をフルライン化し、電算機によるトラッキングにより円滑な操業を実施している。

2.2 自動磁探機

図2に示すように自動磁探機・自動疵取機のシステム構成は機械系として磁化部・水洗部・疵見

部及び自動疵取機、制御系として疵信号処理装置・上位電算機・シーケンサから構成される。本装置はすなわち、表面疵検査から疵取までの高精度・高効率な自動システムであり、その特徴を以下に説明する（表2）。

2.2.1 磁 化 部

磁粉の付着状態を均一化するため浸漬方式を採用し、処理サイクル時間を短くするため連続処理が可能な回転円盤磁化方式を採用した（写真1）。また、自動磁探機の疵検出性能を向上させるため粗・細粒混合の高輝度特殊磁粉の開発も手掛け実用化した。

2.2.2 水 洗 部

水洗部は磁化部と同じ回転円盤方式を採用することによりサイクルタイムの短縮を図った。さらに図3に示すように水洗処理することにより、被検査材表面の肌荒れ部やスケール部に付着した磁粉および磁粉液のしずくなど表面疵以外に付着したノイズ磁粉の除去が可能となった。その結果飛躍的に S/N が向上し、過検出が減少した。

図2 自動磁探機・自動疵取機のシステム

写真1 自動磁探機概観

2.2.3 疵 見 部

疵見部はブラックライト（10台）、CCDカメラ（30台）、原点マーカー、被検査材回転機構から成る。

(1) カメラは240mmの有効視野を持つCCDカメラを採用し、かつ被検査材のサイズに合わせて焦点距離を一定にする自動高さ調整機構を装備している。

(2) 原点マーカーは被検査材の端面に蛍光ペイ

ントを用いて線状にマークする方式で、自動疵取に必要な被検査材周方向の原点位置を決めるものである。この原点マークは表面疵と同様にCCDカメラの原点マーク読み取りのため設定されたウインドウ（電気マスク）から検出される。

(3) 回転機構部では被検査材全周の表面を検査するため被検査材を回転させ、CCDカメラで設定したウインドウから疵を検出する。検出した疵の周方向位置は原点マークを基準にパルスゼネレータによって算出される。

2.3 自 動 疵 取 機

従来は磁探機で表面疵部に載った磁粉を作業者が目視でマークし、その後疵取でマーク部を捜し手直しを行っていた。したがって、マーク部の見逃しや疵取残しばかりでなく疵取深さや疵取形状などに個人差があり、品質保証上問題が発生していた。これを前述の自動磁探機システムと直結することにより解決した。本装置（写真2）は以下の特徴を持つ。

(1) 疵取ヘッド重量の軽量化及び機能集約による高速処理が可能

表2 設備の主仕様

項 目	仕 様
被 検 査 材	熱間圧延仕上げ丸棒鋼
鋼種	特殊鋼全般（非磁性鋼を除く）
寸法・長さ	$\phi 20 \sim 55 \times 3.5 \sim 7.2\text{m}$
表面性状	ショットブラスト，2ロール矯正肌
能力	処理サイクルタイム 6秒/本
疵検出能	0.1mm 深さ $\times$ 20mm 長さ
CCD カメラ	XC-39（ソニー製） $\times$ 30台 有効視野 240mm/台 自動昇降機構付き
磁化装置	3相全波整流 37.0kVA 最大 2200Amp 回転円板 $\phi 1.0\text{m}$ ベークライト製 4.4kW サーボモーター 60rpm
疵見ローラー	$\phi 100\text{mm}$ 4.5 $\sim$ 8.2rpm
画像処理装置	画像処理ユニット 6ユニット 中央制御ユニット 1ユニット
磁粉	高輝度特殊磁粉 濃度 0.5 $\sim$ 1.0g/l
自動疵取機	研削ヘッド懸垂走行式 研削工具 砥布積層ホイール 電磁レギュレータによる無段階空圧制御

図3 水洗処理効果

(2) 砥布積層研削ホイール採用による疵取形状の改善

(3) ホイール圧着力の無段階制御によるシビアな疵取深さコントロールが可能

写真2 自動疵取機

2.4 疵信号処理装置

2.4.1 画像処理部

CCDカメラで撮像された被検査材磁粉模様の輝度を解析し、設定されたしきい値(判定レベル)を超えた信号を疵と判定し、中央制御部へ伝送する機能を持つ。画像処理ユニットは1台で5台のカメラを制御し、装置全体で6ユニットが実装されている。また、撮像画面全体を検査情報としてとらえると、被検査材以外の部分やブラックライトの反射光部も検出するため、適正に探傷範囲を設定するウィンドウ機能を持ち、安定した疵検出性能が維持できるよう配慮している。

2.4.2 中央制御部

中央制御部は画像処理ユニットから伝送される疵検出情報を整理して疵マップを作成し検査・疵取プロコンへ伝送する。また、疵取プロコンから伝送されてくる製品情報を受け、シーケンサや磁化電源部へ探傷条件を指示する機能を持ち、装置全体をコントロールしている。

2.4.3 検査・疵取プロコン

検査・疵取プロコンは検査ランクなどのロット・製品情報を中央制御部へ伝送すると共に、中央制御部から伝送された疵マップを基に疵のグループ化と研削順を決定して疵取マップを作成し、シーケンサに研削位置・研削順・研削圧を指示する機能を持っている。

3. 疵検出方法

3.1 疵検出原理

図4に示すように、CCDカメラから撮像された輝度に比例した電圧信号が0～12Vで出力され、しきい値(判定レベル)は0～12Vの255等分つまり256通りのレベルで任意に設定できる。

しきい値を超える電圧信号を“1”、しきい値より低い電圧信号を“0”として処理し(二値化処理)“1”の集まりを疵信号として見なす。しかし、二値化された疵ドット(dot)“1”が一つであれば疵として処理すると、磁粉液のしずくなどの真の疵以外のノイズ磁粉も全て検出してしまうため、二値化処理後にフィルター回路を設け疵の連続性をチェックすることにより誤検出防止を図っている。

本装置では安定した操作を行うため、CCDカメラからの電圧信号がしきい値を連続して12dot(約20mm)以上超える場合を疵として処理するようにフィルターが設定されている。また、検出可能な疵長さはこのフィルターの設定値を変更することで任意に設定できるシステムになっている。

3.2 疵長さ・位置補正

検出した疵の長さや端面からの位置補正は図5に示す方法で行っており、フィルターでカットした20mm相当分の補正を行っている。

3.3 自己診断機能

ブラックライトの紫外線強度のバラツキやカメラの感度バラツキ、あるいは磁粉液濃度などの探傷性能に大きく影響する探傷条件に対し総合的に探傷感度の補正を行うのが目的で、カメラごとに被検査材バックグラウンド輝度を測定し、その測定値を基準にカメラごとに感度を自己調整する機能である。

4. 疵検出性能

図6の疵深さごとの疵検出性能から判るように、本装置では深さ0.1mmの表面疵(長さ20mm以上)を100%の検出率で精度良く検出しており、漏洩磁束探傷法以上の疵検出性能であることが分かる。また、その検出事例を写真3に示す。

5. おわりに

自動車・産業機器などの需要家は各業界の熾烈

図4 疵検出原理

例 #3カメラ(1-3)が疵検出した場合

$$\text{疵長さ方向の疵起点} = 240 + 240 + x - a$$

#1 #2

$$\text{疵の長さ} = y - x + a$$

a: 補正値 (12dot=20mm)

x: ウインドウ起点から疵検出起点

y: ウインドウ起点から疵検出終点

図5 疵長さと疵位置の補正

写真3 表面疵検出事例

図6 疵検出性能

な競争の中で、歩留り向上・省工程などの原価低減指向及び生産性向上の観点から素材において ppm オーダーの不良率でさえ許容されないパーフェクトな品質を要求している。それ故今後我々は、さらに高精度な検査機器の開発及び自動化によるパーフェクトな品質保証はもちろんのこと、鋼材製造工程での品質造り込み技術向上のため製造部門への迅速な品質情報提供がますます重要になってきており、これら実現のためさらに努力を続けて行く所存である。

(文 献)

- 1) 石田二郎：電気製鋼，60 (1989) 1, 66
- 2) 那須田，中山：電気製鋼，61 (1990) 1, 55
- 3) 香田 浩：電気製鋼，62 (1991) 3, 224