論 説

UDC 658.562:620.179.14 669.14-412

検査整備の現状と今後の課題

藤井 浩一*

Present Situation and Future Problems of
Inspection and Surface Conditioning

Koichi Fujii

Present situation of surface inspection and its automation. Promotion of highly efficient grinding. Inner defects and automation of ultrasonic inspection. Quality control system.

1. はじめに

特殊鋼生産工場における製鋼、圧延部門などは新鋭設備の導入により生産性の向上と生産量の拡大が図られてきたが、検査整備部門は多種多様な製品を取り扱うため人手に頼る複雑な作業が多く合理化が遅れがちとなっている。そこで各社は検査整備の簡略化、省力化による合理化を指向する一方客先での生産工法の多様化に伴う要求品質の厳しさから、より高い品質保証を余儀なくされている。このような状況下にあって各社は信頼性の優れた品質保証体制の確立と、検査整備部門の生産性向上に積極的に取り組んでいる。

特殊鋼の検査整備部門は成分分析から圧延精整工程、矯正、ショットブラスト、外観・内質検査、および梱包・表示など広範囲におよんでいるが本稿では鋼片や棒鋼製品の「外観・内部検査」、きず取研削および品質管理制度などについて、その現状と今後の課題を述べてみたい。

2. 外観検査の現状と自動化

鋼片や棒鋼の外観検査は目視検査と蛍光磁粉探傷検査が一般的に適用されている。これらの検査

は簡便な方法であるが肉眼によって欠陥の有無や程度を判断する官能検査であるため精度面での個人差があり、しかも非能率的な作業である。

蛍光磁粉探傷法は欠陥の検出感度を整えるため磁粉液の磁粉濃度、散布状況、磁化電流値、通電時間、および紫外線照射強度など管理する項目が多く、かつ検査の目的に合致した複雑な設定が必要となる。(第1図(a)~(c)に探傷条件と検出感度の関係を示す)¹⁾とくに、磁粉液の散布や濃度管理には細心の注意が必要となり磁粉液を材料全表面に均一に散布するため第2図の様な各種の散布機構が考案されている。また濃度測定はナシ型沈殿計を用いる場合が多いが、大同特殊鋼㈱(以下当社という)では光学的(ホトマル式)の測定器を開発し、併用している。

一方、1960年代から検査整備部門の合理化や品質保証体制の強化を目的として、磁粉探傷に代る自動探傷法が開発され始め現在では数多くの新設備が稼動している。今後、更に各社に導入されることが予想される。この自動探傷法は各種の方式が開発されており、大別すると、磁粉を用いるものと、漏洩磁束または渦電流を検出するものとに区分できる。

2. 1 角鋼片用自動探傷機について

第3図は角鋼片を対象とした自動探傷機の事例を示したものである。この中で住友金属工業㈱ら

昭和53年11月15日 受付

*大同特殊鋼㈱取締役、機械事業部長

(a) 磁化電流値によるきず深さ分布の変化
(0.45C 90φ)

(c) 被検材の Setting の影響
(0.45C 90φ 磁化電流 1 000 A)

(b) 磁粉液濃度の影響
(0.45C 90φ 磁化電流 500 A)

第1図 探傷条件と検出感度の関係

第2図 磁粉液散布方式の例

	I T V 方式 Industrial TV System	S M D 方式 Sony Magneto Diode System	録 磁 方 式	ホトマル方式 Photomultiplier System
検 出 部 構 造	ブラックライト 高感度撮像管 フィルタ 自動絞リレンズ	検出プローブ 漏洩磁束 磁極	フェルスターソノデ モータ 消磁器 エンドレステープ	ブラックライト ホトマル フィルタ レンズ スリット
探 傷 方 式 (装置)	極間磁化 磁粉液散布 蛍光磁粉+顔料(赤色) 探傷検出ヘッド I T V ブラックライト 定着現像剤吹付装置 定着硬化剤吹付	極間磁化(交流) 探傷検出ヘッド 走査機構	磁気テープ (エンドレステープ) 探傷検出ヘッド 消磁器	輪通磁化 磁粉液散布 探傷検出ヘッド (ホトマル) ブラックライト 水溶性ペイント吹付 装置
対 象 サ イ ズ	100~145 μ	90~155 μ		90~110 μ
探 傷 性 能	0.3mm以上	0.2mm以上	0.3mm以上	0.3mm以上
設 置 状 況	住友金属 (特殊塗料 甲南カメラ)	住 友 金 属	Förster社	大 同 特 殊 鋼

第3図 角鋼片表面きず自動探傷方式の例

写真1 I T V方式
(Industrial TV System) 写真2 ホトマル方式
(Photomultiplier System)

が開発した『I T V—固着磁粉システム』や当社の『光電子増倍管 (Photomultiplier) 方式』について検出機構を述べる。

(1) I T V—固着磁粉システム

極間磁化方式により磁化しながら固着発色磁粉

液を散布し、欠陥部に付着した磁粉模様をI T Vで検出する。マーキングはI T Vで欠陥を検出すると欠陥部に白色現像剤が塗布され欠陥部に付着している磁粉が赤色に変色し定着される。写真1はそれらの検出部²⁾である。

(2) 光電子増倍管方式

軸通電方式により磁化しながら蛍光磁粉液を散布し欠陥部に付着した磁粉模様をスリットを通して光電子増倍管で検出し電気信号に変換させる。光電変換された信号は電気回路により処理し、設定レベルより大きい場合マーカを作動させてスプレーマーキングを行う。写真2はそれらの検出部である。

これら角鋼片用の自動探傷機の共通した問題は鋼片コーナー部に存在する欠陥をいかに精度よく検出するかであり、この対策としてメカニカル、あるいは電氣的により高度な検出機構の開発が今後必要となろう。

2. 2 棒鋼用自動探傷機について

第4図は棒鋼を対象とした自動探傷機の事列を示すものである。検出部回転型の「ROTOMAT」や「RAM」は検出部と励磁部とを組み込んだ回転ヘッドが材料外周を回転し、材料を長手に搬送しながら欠陥部の漏洩磁束を検出する方式である。「SAM」は検出部と励磁部とを組み込んだヘッドを固定し、材料を回転搬送させながら欠陥部の漏洩磁束を検出する方式である。

検出部回転型は欠陥部への適正マーキングが難しいとされており、位置精度が要求される場合は材料の円周を細分割した多チャンネルのマーキングガンを配置する複雑な方式がとられている。

今後はより厳しい加工が施される棒鋼(例えば冷間鍛造用母材)への適用が可能となる高検出能な自動探傷機や細サイズから太サイズまでを精度よくマーキングできる自動マーキング装置などの開発が望まれる。これらは単に省力や生産性のみならず品質保証精度の向上などその期待は大きい。

3. 砥石研削の高能率化

最近の砥石研削の技術は新砥石や高性能の研削機などに目ざましい進歩がある。当社は1960年頃、国産1号機としてきず取り研削機を日本陶器株式会社と協同で試作した。当時のスウィンググラインダーと比較して、研削能率や作業性を大幅に向上させた。

それ以降、砥石主軸、前後機構、研削テーブル、駆動電動機の大形化と剛性アップなどの改造を加え、今日の汎用機として一般化している(第5図

第5図 きず取り研削機の進歩

探傷器名 メーカー	ROTOMAT-AC (Förster 社西独)	RAM (島津製作所)	EDDIO-ROTO (原 電子)	S A M (島津製作一住金)
検出部構造				
探 傷 方 式	交流磁化 漏洩磁束法	直流磁化 漏洩磁束法	渦流探傷法	交流磁化 漏洩磁束法
対象サイズ // 曲り	16~80 ^D 2mm/M	25~140 ^D 3mm/M	21~100 ^D 3mm/M	40~100 ^D 2mm/M
性 能	0.3mm深×17.5mm長以上 11~30t/hr	0.3mm深×20mm長以上 13~102t/hr	0.3mm深×20mm長以上 7~100t/hr	0.3mm深×15mm長以上 22~69t/hr
設 置 状 況	川崎製鉄 新日本製鉄 他	山陽特殊製鋼	大同特殊鋼	住友金属 新日本製鉄 神戸製鋼 他

第4図 丸棒鋼用自動探傷機の例

参照)。一方、研削砥石は焼結アルミナ系からジルコニア系の高硬度、高靱性の砥粒が導入され、研削機の大型化、高荷重、高周速化が進んでいる。砥石の周速度は従来の 3 800m/min から 4 800m/min に高速化しており研削比、研削能率などの向上により、整備きず取り作業の生産性は著しく向上し研削原価も低減している。

第 6 図は高周速化した場合の研削性能の各項目についてその傾向を示すものである。これより高周速化は研削比、研削量を向上させ、かつ研削目粗さ（面粗度）も改善される。

第 7 図は全面研削時の研削量、研削比、砥石周速度、研削圧力などの関連について、アルミナ系砥石とジルコニア系砥石に分け総合的な性能を示す。この表から従来のアルミナ系砥石よりもジルコニア系砥石が研削比および研削能率ともに優れていることがわかる。

従来のアルミナ系砥石の研削条件の周速度 3 800m/min、研削圧 450kg では研削量は約 100 kg/hr である。一方、ジルコニア系砥石の研削条件の周速度 4 800m/min、研削圧 600kg では約

200kg/hr の研削量である。

したがって、全面研削において約 2 倍の研削能率が得られる。また砥石原単位も前述の研削条件のアルミナ系で研削比15に対して、ジルコニア系では研削比は約75であることから約1/5に低減できる。

このようにジルコニア系砥石は総合的にみて研削性能は極めて優れていることがわかる。

また、砥石の進歩とともに、研削機の大型化や高速高性能化が進んでいる。砥石電動機は 37～55kW から 75～110kW が一般化し、重研削化に移行している。砥石の周速度は従来の交流電動機極数変換方式で 2 段階の切替から、直流電動機による 5～8 段の多段変換方式が採用されている。この変換方式により、砥石減耗に伴い常に砥石周速度を一定に補正し研削性能を維持することが可能である。

研削鋼材の搬送方式はピンチローラ方式と移動台車方式とがあり、いずれの方式も高速化の傾向にある。

従来は搬送速度 40m/min 程度であったが、最近では肉眼で検知できる視限速度をはるかに越える 90m/min 近い高速機も出現している。また、部分きず取り用の研削機は正逆時の立上り速度の速い高性能なラジアルピストン型油圧駆動方式が採用され、アイドル時間の削減による能率の向上が図られている。

その他研削圧力を砥石電動機の負荷状況から自動的に変化させる定電流方式が開発されており、これにより一定の研削条件が得られている。

また、このような研削能率の追求以外に、研削後の残存きずに対する BGM (Billet-Grinding-Magna) 方式が約10年前に国内で開発された。

最近の BGM 装置を写真 3 に示す。本方式は研削機の前装置に極端磁化部を設置したもので、研削者は磁粉模様を見ながら研削し、さらに完全に研削されたかどうか磁化しチェックできる装置である。処理能率は単独の研削作業に比べれば、磁探さず見と研削作業の同時作業であり、多少低下することはやむを得ない。

現在、国内の鉄鋼メーカーで約30台設置され稼働している。

第1表は大型研削機の最新型の一例である³⁾。特徴としては砥石電動機 220kW のほか、マイクロ

第 6 図 高周速化と研削性能の傾向

第 7 図 きず取研削の総合性能

写真3 BGM装置 (Billet-Grinding-Magna)

第1表 最新の研削機
(Western Gear 社製) 仕様 (参考)

1) 砥石電動機	220kW (460V) 三相
2) 砥石サイズ	610 ^D × 76 ^W × 304.8mm
3) 砥石周速度	4,800m/min
4) ビレットサイズ	100~360 ^W × 100~360 ^T 長さ1.8~6.0m
5) 走行台車	
回転位置	45~90°
最大速度	90m/min
6) マイクロプロセッサ制御	
アナログインターフェイス・カード入力機	
デジタルインプット・	
アナログアウトプット	
7) 端末機	
マイクロプロセッサ・	
マニュアルインプット機構	
ビレットデータのプリントアウト機構	
磁気テープ装置	

プロセッサを内蔵し、研削深さ、研削速度や研削ヘッドの位置制御をコンピュータの指令により駆動させている。

きず取り研削機はこのようなシステム化、自動化の方向に進むものとみられる。国内では丸鋼の部分きず取り研削機としてSAM自動探傷機を組み込み、きず位置を円周方向と長手方向に分割し、記憶し (Lθ装置)、研削機をきず位置に記憶どおり位置制御し研削する方式がすでに開発されている。

また当社でも、従来の蛍光磁粉探傷を用い、丸鋼の蛍光マーキング材を自動研削機により部分きず取り研削する方式を開発した。第8図がその構成図である。本方式は研削給材側できず位置を事

第8図 丸棒鋼用自動きず取りシステムの構成

前に判読し、ミニコンに記憶させ、研削時、丸鋼のきず位置どおり砥石を位置制御し、研削する方式である。

丸鋼の部分きず取り研削は自動無人化の可能なレベルにあるが、角鋼片については、きず位置の検出精度や砥石の位置制御その他コーナ部研削など、解決すべき問題が多い。当社では、丸鋼での技術を活かした角鋼自動きず取機の開発を推進している。

4. 内部欠陥と超音波検査の自動化

特殊鋼の製品品質のなかでも内部欠陥、例えばパイプ、大型非金属介在物などの存在は重要な問題となる。

この問題に対処し清浄な製品を生産するために製鋼、圧延の各工程では多大の努力がはらわれている。さらに検査工程では内部欠陥検査による品質保証を行う目的で超音波探傷法が広く取り入れられている。

鋼片や棒鋼では手動で行われる直接接触法と機械化、自動化されている水浸、または水膜法などが一般的である。またこれらの材料では欠陥が長手方向に伸びているので側面から探傷するのが基本となり、2方向から探傷する場合が多い。

超音波探傷は従来手動によって莫大な工数と熟練者の経験とに頼る面があったが、近年は機械化、または自動化し欠陥検出精度の安定化と処理能力

第9図 水浸法を用いた自動探傷ラインの概要

の向上が図られている。そこで水浸、水膜法を用いた自動超音波探傷法について紹介する。

4. 1 水 浸 法¹⁾

被検査材と探触子が直接接触しないため高速で、しかも連続探傷が可能となることから自動探傷法では最もポピュラーなタイプである。探触子は被検査材寸法Dの $\frac{1}{4}$ D以上離し、被検査材の底面エコー(B₁)が第2回の表面エコー(S₂)の前にくる様にセットされている。探傷ラインは第9図(a), (b)に示す予浸タンク、探傷水槽、信号処理、自動マーキング装置などから構成されている。

4. 2 水 膜 法

倣い装置に取付られた探触子は被検査材表面との間に約1mm位の水膜を設けてセットされる。ここで使用する探触子は送信、受信専用の振動子をもった分割タイプである。この分割型探触子は送受信を1個の振動子で行う探触子に比較して探

傷面からの反射が極めて小さいため近距離不感帯が少ない。したがって細サイズの棒鋼などには最も適した探傷法ともいえる。

以上、水浸、水膜法による自動探傷法を述べたが、自動探傷で最も問題となるのは探触子の接触状態すなわち探触子と被検査材の相互位置が不変であることで、この影響を受けないようにしなければならない。

第10図に探触子の傾き角度と感度指数を示す。この感度指数を一定に保つために被検査材の変化に応じて探触子を倣わせる装置が必要となる。自動探傷の性能はこの倣い装置によって決まることが多い。当社ではこの対策としていろいろな倣い機構を考案、開発し、第11図と写真4のような倣い装置を実用化した。

鋼片や棒鋼の断面積に対して探傷し得る断面積の割合を探傷カバー率と称することにして、第12

第10図 探触子傾き角度と感度指数

第11図 探触子保持機構(水膜法)

図(a), (b)に探触子数と探傷カバー率の関係を示す。一般的には探触子を2個用いる方式が多いが、最近当社では探傷カバー率をアップするため角鋼片は6個の探触子(3個/面×2面)、棒鋼では4個の探触子(1個/方向×4方向)を用いた自動探傷装置を稼働させ、品質保証の強化を図っている。内部品質に対する保証体制の強化が要求されてお

写真4 探触子保持機構(水膜法)

(a) 角鋼片探傷の探傷カバー率

(b) 丸棒鋼探傷の探傷カバー率

第12図 探傷カバー率

り、今後この種の技術改善や探傷カバー率が高い特殊な探触子の開発などが必要となろう。

さらに、自動探傷装置は探傷速度(材料の搬送速度)30~40m/minがほぼ限界とされているが、倣い装置の性能改善、および超音波の媒体である水や水膜の攪乱防止対策(気泡などによるノイズ対策)を実施し、探傷速度の高速化を進めなければならない。

5. 品質管理制度について

5. 1 品質管理体系の開発

特殊鋼は受注生産方式が多く、かつ多品種少量

生産である。特殊鋼の鋼種は多く、これに製品形状、納入状態、さらに客先の要求品質が組み合わされると製品の種類は数千種類に達する。またこれらを納期に合わせて製造するには、作業工程や品質管理に相当な困難を伴う。

この多岐にわたる要求仕様を正しく伝え、またこの要求を満たす製造方法や作業を誤りなく行うことが特殊鋼製造のキーポイントである。

そこで当社は以下に述べる総合品質等級制度を開発し、多品種少量生産に適した品質管理体系を確立した。その開発の要点はつぎのとおりである。

(1)客先の要求品質を簡明に記号化表現すること。

(2)品質水準と製造、検査の結び付けをすること。

(3)多種多様な品質水準をすべて包括すること。

5. 2 総合品質等級制度と品質管理

特殊鋼に要求される品質特性は化学成分、長さ、

寸法、曲りおよび機械的性質など数多くある。これらの品質特性の平均値、ばらつきを把握していれば客先の要求を緩いものから厳しいものへクラス分けができる。こうして各品質特性ごとに標準となる品位号数を決定する。この各品質特性ごとの号別を品位号別と呼んでいる（第2表参照）。

一方客先における用途を形状別に切削用、鍛造用、引抜用などに大別した上、おのおのの用途をさらに加工度の緩いものから厳しいものへと分類したものを品質等級と称し（第3表参照）、このように分類したものと上述の品位号別を各品質特性にあてはめる。これをもとに技術的な見解と、公約数的な立場とから検討を加え、整理したものを総合品質等級制度と呼び、簡単な記号で表わしている（第4表参照）。

この完成により、製造、検査整備部門では従来は多岐にわたる客先要求仕様を各工程ごとに品質特

第2表 曲がりの許容差の品位号別

品位 号別	曲がりの許容差		備 考
	任意の1mあたり	鋼材全長（ <i>l</i> m）あたり	
0号	検査および結束にさしつかえない程度の曲がり		
1"	5mm以下	5× <i>l</i> mm以下	
2"	3 "	3× <i>l</i> "	〔注〕
3"	2 "	2× <i>l</i> "	
4"	1.5 "	1.5× <i>l</i> "	
5"	1 "	1× <i>l</i> "	
6"	0.5 "	0.5× <i>l</i> "	

〔注〕 標準品質を示す。

第3表 丸・角・六角棒鋼（圧延鋼材）の品質等級（一部）

記号	使用条件および品質に対する要求程度
・	・ ・ ・ ・ ・ ・ ・
・	・ ・ （ 省 略 ） ・ ・
・	・ ・ ・ ・ ・ ・ ・
M1	切削代が多く品質に対する要求がユルイもの（JIS相当）
M2	切削代が少なく品質に対する要求がキツイもの
F1	一般鍛造材で品質に対する要求がユルイもの（JIS相当）
F2	鍛造材で品質に対する要求がややキツイもの
F3	鍛造材で品質に対する要求がキツイもの
・	・ ・ ・ ・ ・ ・ ・
・	・ ・ （ 省 略 ） ・ ・
・	・ ・ ・ ・ ・ ・ ・

第4表 品質等級と品位号別

品質等級記号	使用条件および品質 に対する要求程度	化学 成分	外 観 形 状							内 質											
			寸 法	長 さ	曲 が り	検 査 状 態	き ず 取 り 深 さ	許 し う る き ず	炭 素 鋼			強 靱 鋼			は だ 焼 鋼				マ ク ロ		
									地 き ず	マ ク ロ	結 晶 粒 度	地 き ず	マ ク ロ	機 械 的 性 質	焼 入 性	地 き ず	マ ク ロ	機 械 的 性 質		焼 入 性	結 晶 粒 度
Y 1	切削するか鍛造するか不明確なもので 品質要求がユルイもの	1	3	1	1	B1	1	1		2F	○		2F	○	○		2F	○	○	○	2F
Y 2	切削するか鍛造するか不明確なもので 品質要求がキツイもの	1	3	1	2	B1	1	2		2F	○		2F	○	○		2F	○	○	○	
B 1	黒皮のまままたは熱処理して使用し、 寸法・きず取りなど品質要求がユルイ もの	1	3	1	2	B1	3	5		2F	○		2F	○	○		2F	○	○	○	2F
B 2	黒皮のまままたは熱処理して使用し、 寸法・きず取りなど品質要求がキツイ もの	1	3	1	2	S1	3	6		2F	○		2F	○	○		2F	○	○	○	2F
M 1	切削代が多く、品質要求がユルイもの	1	3	1	3	B1	0	1M		2M	○		3M	○	○		3M	○	○	○	2M
M 2	切削代が少なく、品質要求がキツイもの	1	4	1	3	B1	0	2M		2M	○		3M	○	○		3M	○	○	○	2M
F 1	一般鍛造材で品質要求がユルイもの (主として自由鍛造を受けるもの)	1	3	1	2	B1	1	4		3F	○		3F	○	○		3F	○	○	○	
F 2	鍛造材できず取りの要求がキツイもの (主として型打鍛造を受けるもの)	1	3B	1	2	1															

性を判読する複雑な作業となっていたが、記号化された品質等級を判読することによって客先要求の全容を理解し、把握できるため一貫した品質保証、品質管理が可能となった。また実作業面で品質保証や品質管理をつかさどる検査整備作業者は単に製品の良否を判定する業務から、客先ニーズを十分に理解し、把握した上での総合的な合否の判定業務、および不良品発生時における製造部門への原因、対策に結び付くような品質情報の提供、さらには製造、検査整備部門が一体となった不良対策の推進など、その役割はますます広範囲にわたり、かつ高度な知識が要求されている。

したがって、品質管理、製造技術面を含めた新しい教育管理体系を拡充していかなければならない。

5. 3 生産管理の電算化

前述の品質等級制度の完成は従来受注ロットの技術仕様を一品一葉で設計していたものが標準化され、受注から製造命令、工程管理、検査、出荷という一連の管理業務の電算化の基礎となった。

とくにこの効果は当社の主力工場である知多工場において受注、工程、品質の複雑な情報構造を集中管理するオンライン生産管理システムの開発に生かされた。

今後、検査整備部門における各種の新鋭自動機器の導入などと相まって、定量的、かつ迅速な品質実績や情報による品質管理と製造工程とを有機的に結び付けた総合品質管理、工程管理システムへと拡大発展しつつある。

6. ま と め

これまで概説したごとく、外観自動探傷、自動きず取り、内質超音波検査などの新しい技術の導入は、単に検査整備部門の省力合理化にとどまらず、機器による定量的かつ適確な品質管理が可能となり、品質保証精度も向上し得るものである。

ただし、これら新鋭設備は特殊鋼素材の品質によってその効果が左右される。したがって製造部門と検査整備部門が一体となって、日常の品質管理を推進し、品質水準の維持改善に努めねばなら

ない。

今後、客先のニーズはますます多様化、高度化しており、これに対応するためにも、新技術の開発、新鋭設備の導入を推進するとともに、製造品質の安定化、製造標準の適正化を図らねばならない。

これによる総合的な成果として、製造から検査整備部門にわたる一貫した生産性の向上と原価低

減ならびに信頼性の優れた製品品質が得られるであろう。

（文 献）

- 1) 東，富浦：製鉄研究，(1966) 255, 6616
- 2) 特殊塗料特カタログ
- 3) Iron and Steel Engineer 55 (1978) 8, 79
- 4) 中瀬久生：電気製鋼，47 (1976) 3, 171