

となつている。

一方、マンドレルミルについても昭和 57 年に住金海南において、圧延中の速度変動に起因する管長手方向の肉厚変動を解消するための制御法が実用化された。これは、制御しない場合の肉厚変動を予測し、これをキャンセルするように各スタンド間の張力をダイナミックに制御するものである。さらに、昭和 58 年に相次いで稼働を開始した各社の傾斜穿孔圧延機方式の新ミルでは、ミル制御のみならず精整ラインや自動倉庫についても徹底した自動化が図られ、寸法精度と品質の高位安定並びに高生産性を実現している。

今後は、熱間肉厚計の各ミルへの適用が進み、偏肉抑制や管端部の寸法制御等により寸法のいつそうの高精度化が図られると共に、製管から精整までの一貫した情報による品質管理強化にも重点が置かれることになろう。

(b) 溶接鋼管

電縫管は、ボイラー用や油井管等の高級管分野への進出に伴い溶接品質を高位に安定させることが急務となり、昭和 51 年頃から溶接現象の解析や制御法の開発が本格化した。その結果、昭和 56~57 年にかけて新日鉄名古屋、君津と住金和歌山で入熱制御システムが実用化された。名古屋の方式は、高周波電源の微小な周期変動を計測し、これを所定の範囲内に制御するものであり、君津と和歌山は、溶接温度と肉厚、製管速度に応じて溶接入熱を制御しており、和歌山では溶接部の測温用に新しく開発された温度パターン計が用いられている。

鍛接管については、昭和 51 年に住金鹿島に世界初の計算機制御システムが導入されている。これは、帯鋼の両端と中央部を適温に維持するための鍛接温度制御と帯鋼の板厚変動を補償する肉厚制御等から成っている。

また、昭和 58 年に川鉄千葉の UOE 鋼管工場に導入されたシステムは、鋼管一本ごとの強力な現品管理に基づく高度の品質保証を実現しようとするもので、今後の一つの方向を示すものといえる。

4.8 分析ならびに試験法

4.8.1 鉄鋼分析法

第 1 次石油危機以降、最近 10 年間に鉄鋼業を取り巻く環境は大きく変化し、従来の量産体制からの脱皮を余儀なくされた。すなわち生産量の頭打ち状態が定常化するとともに省資源、省エネルギー、歩留向上によるコストダウンと製品の高級化・高付加価値化が指向された。

したがって新技術・新製品の開発もこの要請を反映したものとなり、高炉のオイルレス操業、炉頂発電、連続

鑄造の拡大、溶銹予備処理法、二次精錬法などの技術および高張力鋼板、耐 HIC 鋼、各種表面処理鋼板などの製品が開発され大きな成果を上げてきた。分析部門においても同様な変革が要請され環境や技術の変化を先取りした新技術の開発、新しい機器の開発・導入、自動化の推進などにより対応してきた。

この間の主要な分析技術としては

①オンライン分析法の主体である発光分光分析法は新測光法の開発によつて著しく精度が向上し、高速発光機の普及とあいまつて生産部門の歩留向上、品質改善に大きく寄与した。

②高周波誘導結合プラズマ発光分光分析装置の導入と実用化および蛍光 X 線分析-融解法の普及と適用拡大によつて化学分析の機器化が進み、分析の迅速化と省力化が達成された。

③グリムグロー放電分光分析法など各種の新鋭分析機器が実用化されて局所および状態分析に活用され、材料研究および製品開発に有用な知見を見出しその進展を促した。

④清浄鋼など製品の高級化に対応して微量分析法の開発が、また鋼中ガスおよび非金属介在物分析における状態分析法の研究が進められ、品質改善に貢献した。

⑤生産設備の連続化、高速化に応じた自動化機器および自動分析システムが開発され、操業管理のレベルアップおよび品質保証体制の確立に重要な役割を果たすと同時に分析の省力化にも寄与した。

などが上げられる。分析部門はこれらの技術を効果的に駆使するとともにこれまで蓄積した技術を応用して、常にトータルコストミニマムを指向しながら、多量の分析情報を正確かつタイムリーに提供してきた。以下にその詳細を述べる。

(1) 発光分光分析法

製銹・製鋼工程におけるオンライン分析法として広く用いられている発光分光分析法はスパークあるいはアーク放電を励起源とする方法で、400~800 Hz の高速発光装置を用いれば約 5~10 s で多元素の分析ができる。しかし放電時に Al_2O_3 などの介在物に選択放電しやすく、異常に大きな発光強度を示す。このため光電子増倍管の出力電流を積分コンデンサーで一定時間積分する従来の測光法では、しばしば Al などに異常値が出現した。この問題を解決するために開発されたのが PDA 測光法 (Pulse Distribution Analysis Method) である。これはスパーク放電によつて生じたスペクトル線の強度を放電ごとに測定・記憶し、選択放電に起因する異常強度を除いた後、強度の出現度数分布を統計的に処理し分析値を得る方法 (図 4.8.1 参照) で異常値が解消され

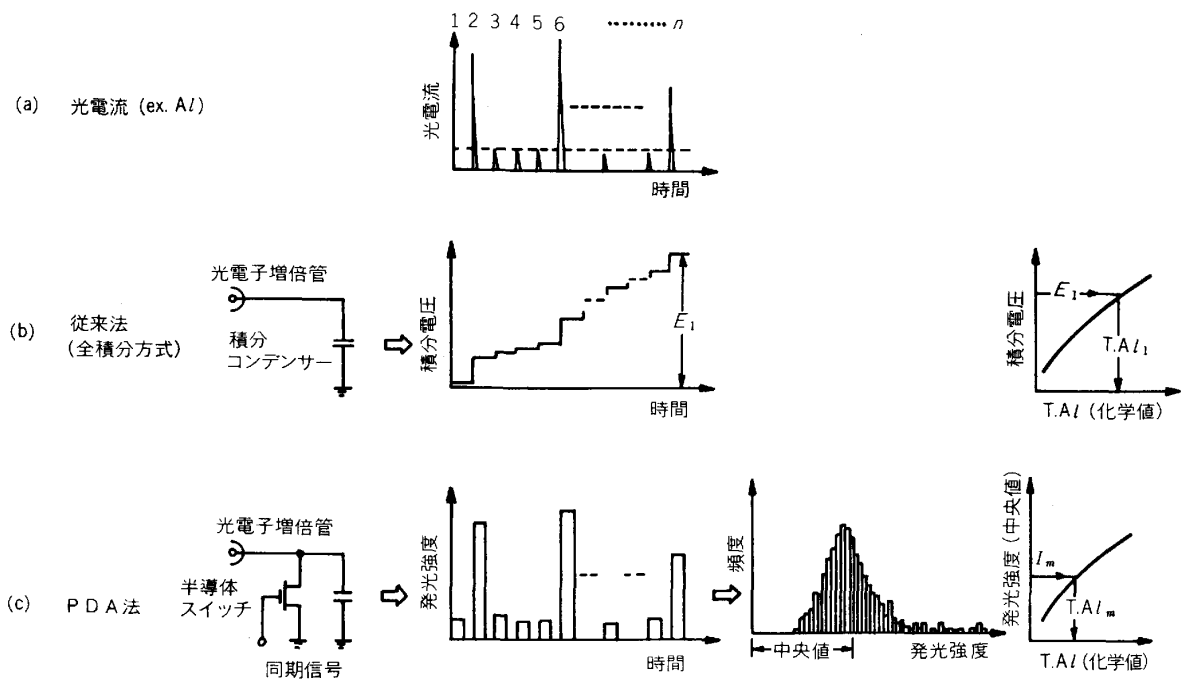


図 4-8-1 PDA 測光法の原理

(K. TOHYAMA, et al.: Research And Development In Japan Awarded The Okochi Memorial Prize (1978), p. 31)

た。PDA 測光法の適用により Al, B など介在物を形成しやすい元素の分析精度が大幅に改善され目標適中率および歩留りの向上に大きな効果を上げた。さらに PDA 測光法を用いた Al, B の形態別定量法も研究され、従来化学分析法に頼らざるを得なかつた酸可溶性 Al の迅速分析が可能となつたのも操業管理上画期的な進歩であつた。ただしこの方法は酸不溶性 Al の量が多いと問題があるので今後理論的・普遍的なパルス解析法の確立を進めなければならないが最近ではエネルギー交互変換方式など別方式からのアプローチが試みられている。

分析精度の向上、適用対象の拡大を図るために高エネルギー予備放電の採用、共存元素による相乗干渉などが研究されている。さらに新しい技術としてはレーザー光を励起源とする方法および光ファイバーによる遠隔分析が試みられていて、特に前者は近い将来溶銑・溶鋼の直接分析に適用し得る真のオンライン分析法としてその進展がまたれている。

最近急速に普及してきた新技術に溶液試料を対象とする高周波誘導結合プラズマ発光分光分析法 (ICP 分析法)がある。これは高周波によつて発生させた高温 (6000~10000K) のアルゴンプラズマ中に溶液試料を噴霧して励起し、その発光を分光・測定して波長および強度から目的元素を定量する方法 (図 4-8-2 参照) である。ICP 分析法は従来溶液試料の迅速分析法として多用されてきた原子吸光法と比較して、検出感度が高い、化学干渉が少ない、検量線のダイナミックレンジが広い、多

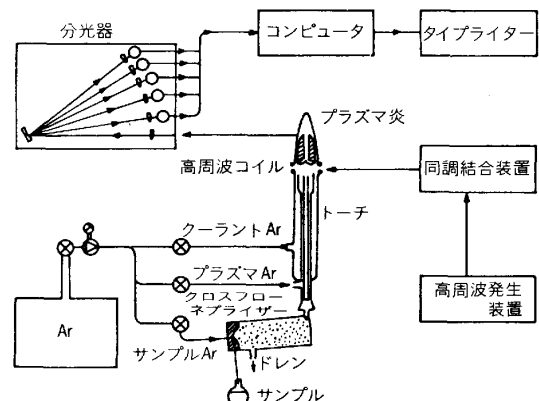


図 4-8-2 ICP 分析装置のブロック・ダイアグラム (遠藤ら: 鉄と鋼, 66 (1980), A105)

元素同時分析が可能などの利点を具備している。鉄鋼分野では原子吸光法で分析困難であつた Nb, Zr, La などへの適用にはじまり、ステンレス鋼、耐熱鋼などへの応用が進む一方、内標準法、検量線の一元化などが研究され精度、正確さも向上した。また微量分析への応用では高分解能真空型装置を用いた微量 P, S, B 分析や蒸留分離、水素化物発生法の併用も実施されている。ICP 分析法の適用対象は鉄鉱石、スラグ、非金属介在物などにも拡大され化学分析の省力化に威力を発揮しているが、それにもまして製品、実験材などの分析を迅速化し、品質管理あるいは製品開発の推進に大きく貢献してきた。ICP 分析法の応用技術として超微粒子発生法による固体分析法が研究されている。これはスパーク放電

によつて発生させた金属微粒子を ICP 分析法で定量しようとする試みであるが、成分元素の分別蒸発、微粒子の輸送とコンタミネーションなど解決すべき課題が残されている。また近年注目されつつある原子蛍光法はアルゴンプラズマを用いる点で ICP 分析法と共通であり、ICP 分析法の利点に加えて共存元素の影響が少ない特長をもつが感度などに問題があり今後の研究がまたれる。いずれにしても ICP 分析法は歴史が浅く装置の開発・改善によつてさらに進歩するであろう。

(2) 蛍光 X 線分析

鉄鋼の蛍光 X 線分析法は一次 X 線の斜め入射法などによる X 線強度の増大、反射効率の高い分光結晶の開発、高計数率測定法の改善、装置の恒温化など装置の改良およびバックグラウンド強度に及ぼす共存元素の影響除去、試料研磨時の汚染防止など分析法の改善によつて定量範囲が拡大され、ステンレス鋼など高合金鋼のオンライン分析にますます威力を発揮してきた。特に全反射ミラーの開発によつて C 分析が可能となり、C の影響補正が容易にでき精度、正確さが改善されると同時に目標適中率の向上などに寄与している。また表面処理鋼板めつき層分析のための手法も研究され、地鉄の Fe 蛍光 X 線強度からめつき付着量を、めつき付着量と目的元素の蛍光 X 線強度からめつき組成をそれぞれ定量する方法が実用化されていて、操業管理の充実、プロセス改善などに有用なデータを提供している。このほかにも Si(Li) 半導体検出器を具備した簡易分析計が実用化されロット混入時の鋼種判定に有効な機器として活用されている。

一方、ほう酸ナトリウムあるいはほう酸リチウムを用いるガラスビード法は従来から研究が続けられていて、鉄鉱石、焼結鉱、スラグ等粉末試料の分析に適用され、工程管理に活用されてきたが、最近鉄鉱石の受入検定用分析法として JIS 化 (JIS M 8205-1983) された。これは従来の方法に加えて、ガラスビード調製方法、測定方法、硫黄の揮散防止などを規定し対象成分も SiO_2 , Mn, P, S, Cu, TiO_2 , CaO, MgO, Al_2O_3 , Cr, V に拡大したものである。さらにガラスビード法については共存元素補正のための d_j 補正法の適用、バックグラウンドの影響補正、標準試薬による合成検量線の実用化などが進められていて定量範囲および対象の拡大、分析精度の向上が期待されている。また X 線の吸収による感度低下が問題となっている溶液試料を対象にろ紙点滴法が実用化されている。これは試料を特殊ろ紙に滴下し、乾燥後真空中で分析する方法で、めつき浴の自動分析システムにも採用されて大きな成果を上げている。

蛍光 X 線分析は今後ますます応用範囲が拡大され工程管理および研究分析に有効な情報を提供できると考えら

れる。今後の研究課題としてはポリエチレン系窓材の開発と薄膜化による O, N 分析が上げられる。

(3) 局所分析および状態分析

製造技術の進歩、品質の向上にともなつて、鉄鋼材料の局所分析に対する要求がこの 10 年間に極めて急速に増大した。このため従来から局所分析の中心的役割を果たしてきた電子線プローブマイクロアナライザ (EPMA) を自動化する努力がはらわれ、データの画像解析機能 (マッピング) をもたせた装置全体を完全に自動制御し、終日測定できるものまで開発された。その結果これまで測定に時間と労力を要した二次元定量分析が容易となり、凝固過程における元素の分布状態の変化等について有益な知見が得られるようになるなど、適用分野がさらに拡大されるようになった。またこのような技術開発の中から、電子線のビーム径を $10 \mu\text{m}$ 以上に拡大し、 $300 \times 100 \text{ mm}$ の領域を一度に分析できるようにした装置 (マクロアナライザ) が日本の鉄鋼業の研究者によつて開発された。主として連続鋳造における P, Mn 等の中心偏析の研究に用いられ、材質改善に寄与する情報が得られつつある。

一方局所分析装置として EPMA と並んで盛んに用いられてきた電子顕微鏡については、走査型 (SEM)、透過型 (TEM) のほかに走査透過型 (STEM) が開発され、これにエネルギー分散型 X 線検出器 (EDX) および電子エネルギー損失スペクトル測定装置 (EELS) を組み込んだ分析電顕が鋼中の微小析出物の同定に用いられるようになった。特に EDX については窓材を使用しないものも案出され、炭化物の分析も可能となつた。

以上の従来型の分析手法に加えて、イオンプローブ質量分析 (IMA), オージェ電子分光分析 (AES), 光電子分光分析 (XPS, ESCA) 等の表面分析が急速に利用されるようになり、表面処理鋼板の皮膜構造解析、脆性破断の研究等に現在さかんに適用されている。なかでも IMA は、EPMA では測定のできなかつた H, B 等の検出が容易であり、水素プリスター、 γ 結晶粒界への B の偏析等について新規な情報を提供している。また最近では合金めつき層の深さ方向分析に用いられるようになり、各めつき層を定量評価できるまでに至っている。一方 AES は、主として脆化機構の研究に用いられてきたが、照射電子ビームの細束化が急速に進むとともに介在物、析出物の分析にも適用されるようになった。またイオンスパッタリングを併用して、極表面層の分析も行われている。

このように表面処理鋼板の皮膜の元素分析は、IMA, AES によつて行われてきたが、これらの手法はいずれも高価な超高真空装置を必要とし、測定に時間がかか

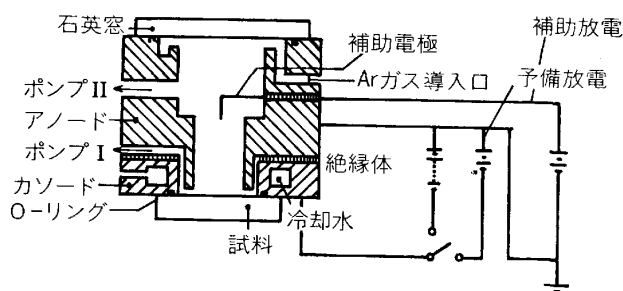


図 4.8.3 予備処理放電型 GDS の概略図
(Y. OHASHI, et al.: Surf. Interface Anal., 1 (1979), p. 53)

る。このため短時間内に分析結果が求められる現場分析、工程管理には対応できないでいた。最近になって、グリム型のグロー放電分光分析 (GDS) がこの要求に応えられる手法であることが判明し、現在工程管理 (オフライン分析) に用いる方向で検討が進められている。

GDS は異常グロー放電時に生成する Ar^+ イオンが、陰極として置かれた試料の表面に衝突した時に放出される粒子を、放電プラズマ中で励起発光させるもの (図 4.8.3 参照) で、放電条件を適当に制御することによって $\sim 100 \text{ \AA}$ の分解能で深さ方向の分析を行うことができる。分析面積は $\sim 8 \text{ mm}\phi$ であり、分析時の真空度は数 Torr である。定量性も比較的良く、簡易迅速表面分析法として今後さらに発展するものと予想される。

状態分析については機器による方法と湿式分析の二つの方向から研究されている。前者で用いる機器はこれまでの EPMA、蛍光 X 線分析から XPS に移行しつつある。EPMA、蛍光 X 線分析では K_{α} のほかに K_{β} 、 K_{β}' (サテライト) 線の形状変化、化学シフトを用いて鋼中の Al, Si, 高炉スラグ中の S 等の形態分離が行われてきたが、適用例が限られていた。これに対し XPS は X 線照射時に放出される光電子の化学シフトを測定するもので、試料表面 $\sim 20 \text{ \AA}$ に存在する元素の結合状態を、H を除いて測定することができる。クロメート処理皮膜の金属 Cr と酸化物 Cr の分別等表面処理鋼板の表面分析を中心に、各種の材料の状態分析に広く用いられている。このほかにも水素気流中で微粉試料を加熱し CH_4 、 H_2S 、 NH_3 などのガス抽出温度の差により炭化物、硫化物、窒化物の形態別分析を行う方法も試みられているが複雑な組成をもつ鋼へ適用するにはさらに研究を要する。

一方湿式分析は化学量論に立脚した方法であり、しかも試料量が多く代表性のある結果が得られるため広く利用されている。最近是非水溶媒系電解液を用いる定電位電解法による抽出分離法が主流となっていて各種の炭化物、窒化物、硫化物の抽出分離法が確立されている。また、非水溶媒系電解液による定電位電解エッチング (SP

EED) 法と SEM, TEM の組み合わせにより、析出物の *in situ* 観察と分析が可能となり、多くの不安定析出相の解析に応用されている。近年二次電解による分離法が開発され、Ca 硫化物と Ca 酸化物の分別定量、Cr-Mo 鋼中炭化物と Mo_2C の分別定量などが可能となつて、耐 HIC 鋼の硫化物形態制御や Cr-Mo 鋼のクリープ破断強度の研究に有効な知見が見出されている。また従来困難とされていたりん化合物の抽出分離に有効な電解液が考案され、りん化合物の析出挙動が明らかになるとともに極低炭素鋼の材質改善をもたらした。ステンレス鋼中析出相の状態分析もはじまり、炭化物、窒化物の挙動が解明されつつあつて材質改善の有効な手法となつている。

これらの手法はいずれも長時間を要する。そのため自動電解装置が開発され効率的な処理が可能となつた。なお最近清浄鋼中の微量酸化物測定法として電子ビームによる介在物凝集法も研究されていて簡易法として利用されているが状態分析の今後の課題は機器と湿式が連係した総合的な分析システムの確立であろう。

(4) 化学分析およびガス分析

化学分析は前述した ICP 分析法およびガラスビード法におきかえられつつあるが、機器分析標準化のための基準分析法として、また鋼の高級化に対応する微量分析の必要性からますます重要な手法となつている。技術自体は従来の延長線上にあるものの、特に微量分析については C, P, S, B を中心に研究が進められ高感度赤外分析計の開発、りんモリブデン酸抽出原子吸光度法による P の定量、還元蒸留メチレン青吸光光度法による S の定量、溶媒抽出分離クルクミン吸光光度法による B の定量、水素化合物発生原子吸光度法による As, Sn, Sb, Bi, Pb の定量などが開発あるいは実用化されそれぞれ価値ある分析情報を提供している。

化学分析の課題は ppb レベルの定量が可能な分析法あるいは溶液の形態分析法の開発であると考えられ、前者の手法としてフレイムレスアトマイザー原子吸光度法が上げられよう。

一方ガス分析については脱ガス工程のニーズから精度とともに迅速性の確保に技術の重点が置かれた。そのため従来に引き続いて不活性ガス融解法の導入、普及が進められ新しい検出器としては O 分析のための赤外分析計、H 分析用の高周波加熱-熱伝導度計などが実用化されて、工程管理を支えた。しかしこれらの方法は試料調製後数分の分析時間が必要なため、最近では電子ビームと質量分析を組み合わせた機器が考案されている。これによれば試料調製が不要で分析時間も 100 s 程度に短縮される可能性がある。

脱ガス技術の向上により鋼中ガス量はさらに低減するであろうが、この場合は従来にもまして標準化方法および試料調製法を規定しなければならない。すでに標準ガスを用いる分析方法、水素還元による前処理法など実施されているがより深い研究が必要となろう。

なおガス用センサーとして酸素濃淡電池が利用されており、H分析には拡散水素定量装置もあるが微量分析への応用も課題の一つとなる。

(5) 自動分析システム

従来分析の自動化技術は分析装置の自動化とコンピュータによる分析データ処理の二系列で進められてきた。しかしエレクトロニクスの進歩により最近の分析装置はほとんどマイクロプロセッサで自動制御されており、データ解析も可能となっている。一方データ処理は分析部門だけに止まらず工場全体の総合生産システムに組み込まれるようになった。このため分析装置をセンサーとして製造ラインに設置し操業と連動して機能させる自動分析システムが広く用いられるようになった。試料自動調製装置と連結した全自動発光分光分析装置を製鋼工場に設置した例、表面処理ラインに蛍光X線分析装置あるいはICP分析装置を付設した例などがあり、いずれも分析情報をリアルタイムでフィードバックし工程管理の質を大幅に向上させるとともにライン設備と連動させて要員の省力化を図るもので今後の分析システムのあり方を示すものであろう。

ここ 10 年間における分析技術の進歩についてその概要を述べてきたが、今後 10 年間はこれまで以上の進歩・変革が起こるであろう。しかし分析関係者はそれが鉄分野であれ、脱鉄分野であれ先端技術は分析技術を基盤に進歩するという信念を持つて、環境・技術の変化に対応してゆくであろう。

4.8.2 試験検査法

(1) 概況

ここ 10 年間、試験検査部門を取り巻く情勢は大きく変わった。その背景となる要因をいくつか述べてみる。

① ユーザーの材質に対する要求特性はかつてないレベルで高度化、厳格化するとともに、多様化してきた。

② 各企業の競争力維持、向上施策として推進される新製品開発指向の中で、タイムリーにかつ、精度良く特性評価が可能な試験検査体制づくりが必要となった。

③ 製造、出荷一貫管理体制の中で特に、品質保証システムの充実・強化がさげばれ、その中枢を担う試験検査データ処理システムの質的レベルアップが重要な課題となつてきた。

④ 省エネルギー、製品歩留向上、品質均一性向上等

の理由により、鉄鋼プロセスの連続化、直結化が進められ、中でも欠陥材の管理を連続的に行う新しい検査技術の確立が必要となつてきた。

⑤ トータルコストミニマムの思想が付帯部門においても浸透し、試験検査コストの切下げ策として、自動化、省力化が従来にも増して重要視されてきた。

このような背景の中で、試験検査分野の技術進歩はめざましいものがあり、まず第 1 に、新しい試験検査評価法の開発とその標準化が挙げられる。ユーザーの品質に対する厳格化、多様化と検査項目の一貫性、製品全体の健全性のニーズが強まり、従来のスペックギャランティーからパフォーマンスギャランティーの思想が定着化し、客先要求による新しい材料評価法が開発された。機械試験の例では、縫目無鋼管あるいは厚板材等に適用される硫化物応力腐食割れ試験、COD (Crack Opening Displacement) 試験がそれに該当する。これら新しい評価法は新製品の開発とも密接な関連があり、開発途上あるいは開発後のプロパー時点で、状況に応じた設備の実用化、ソフトの標準化が確立された。

第 2 に試験検査作業の自動化、省力化およびデータ処理システムの技術進歩がある。試験検査部門はこれまで極めて人への依存度が高いセクションとして知られており、企業競争力の維持、向上面から労働生産性向上および試験コスト低減化が強力に推進され、試験検査作業の自動化、省力化の技術は急速に発達した。また、ハード面のみならず、取り扱う情報および試験検査結果を効率良く、迅速に処理するための情報処理システムも大きく改善された。

第 3 に試験検査のオンライン化技術の進歩がある。これは、試験室あるいはオフラインでの自動化、省力化技術とは異なり、試験検査をダイレクトに生産工場のオンラインで連続処理しようとするものである。品質保証の要求も薄板製品などの例では、コイルエンド部での欠陥評価、材質評価では満足されず、コイル全長にわたる保証の考え方が一般化し、なおかつ、クイックレスポンスの要求が以前にも増して高まつたことにより、オフライン抜取検査からオンライン全数検査あるいはインライン迅速検査への切替えが急ピッチで進んでいる。

第 4 に鉄鋼プロセスの連続化、直結化に呼応した新しい非破壊検査技術の進歩が挙げられる。これは鉄鋼メーカーが製造プロセスの連続化、直結化を積極的に推進してきた結果、従来のバッチプロセス下における検査員主体の製品検査方式に限界が生じ、特に熱間あるいは高速ラインでの欠陥検出技術の確立が必要となつたためである。

(2) 機械試験法

機械試験の技術進歩には概況でも述べたように、新しい材料評価技術の進歩および試験作業の自動化、省力化あるいはオンライン化の技術進歩があるが、ここでは後者の自動化、オンライン化を中心に紹介する。

(a) 試験片加工、調製技術

試験片の切断、加工工程において、薄板関係で2～3の新技術が導入された。薄板の切断、加工は従来より、剪断機、パワープレス、フライス盤が主力であつたが、最近自動車部品の精密打抜加工に広く取り入れられている対向ダイス打抜法が、試験片加工に導入された。この方法は引張試験片の加工に威力を発揮し、通常のプレス抜きに比べ、加工硬化層が極めて小さいことが特徴である。

また、剪断作業のもうひとつの自動化技術として、CNC ターレットパンチプレスがある。形状の異なる複数試験片のブランク取りを1回の材料セットでパンチング処理し、しかも角度切り、採取位置指定も容易である。上位 CPU と連結することにより、数10種類の複雑な切断パターン指令がダイレクトに出せるため、剪断作業の能率向上に効果が大きい。

次に厚物の切断、加工では、厚板材小割切断用に全自動ガス切断装置がある。本装置はマイクロ CPU が内蔵されており、試験材のセット、異方向の複数切断、刻印、仕分けの工程がすべて自動化されている。フライス加工工程では、材料のローディングにロボットあるいは APC (Auto Pallet Changer) を導入し、本体のマシニングセンターと連結化を図ることにより、自動加工処理が可能となつた。この応用技術として、衝撃試験片の加工に複数台の型型および横型 NC フライス盤を直列配置し、仕上工程に自動研磨機、自動刻印機を具備した専用加工ラインも出現した。丸型引張試験片加工においては、NC 旋盤とロボットの組み合わせにより、専用加工セル化が可能となり、板状引張試験片加工用の両頭フライス盤も本体の NC 化に加え、加工済みの試験片を中間搬送工程を介さず、試験室引張試験機へ直接移載するダイレクトコンベアー方式が導入されている。これは加工機と試験機が連続化された事例であり、試験条件もコード化し音声入力されていて試験機への遠隔指示も可能となつている。

このほか加工室の空間を利用して試験片残材を管理する立体自動倉庫および加工ショップ間のワーク移動に無人搬送車を導入した例は、今日かなり普及している。近年、工作機械およびロボットの技術進歩はめざましく、人と汎用機による家内工業的な加工室イメージは一掃され、複数の NC 加工機とロボットが整然と配置された FMS (Flexible Manufacturing System) 指向の加工室

が実現することは、そう遠くはなからう。

(b) 材料試験の自動化、省力化技術

引張試験の自動化については、薄板材対象にモーター駆動式の全自動薄板引張試験機が開発された。当初、この装置は常温引張試験の単独仕様であつたが、最近ではモード切換えにより、時効引張り、ランクフォード (r 値) 試験も処理可能となり、適用試験項目の拡大化が図られ、省力効果も倍増した。厚板の自動引張りは特異な点として、ダブルチャック方式を採用していることである。平型と丸型あるいは平型と弧状等2種類のチャック駒が同一クロスヘッド内に装填され、試験区分により使い分けが可能となつた。構造的にはチャックホルダー部がシングル式に比べ、約3倍のスペースを有し、中央部が引張位置で前後に異種の駒が並列配置され、必要な駒が中央部に自動的にスライドセットされる方式である。このダブルチャックの採用により、駒替作業が減少するばかりか、1台の引張試験機で厚板平型と縫目無鋼管弧状試験片が適用でき、試験機の集約化、稼働率向上化が可能となつた。

(i) 衝撃試験

これまで、一般に普及している衝撃試験機の自動化レベルはハンマーの持ち上げと振り上がり角度の読み取りが自動化されているに過ぎず、試験片の温度保持、アンビル上へのセットは旧態然として人手に頼っているのが実情である。全自動衝撃試験機はこの試験片の指定温度での保持およびアンビル上への移載を完全自動化したものである。上位 CPU から伝送された試験条件にもとづき、試験片を冷却槽内で指定温度に自動冷却、保持後、連続してトランスファーロボットにより、試験機アンビル上へ自動装着する。試験機本体のハンマー自動落下機構と連動させることにより、衝撃試験作業の大半が自動化されるが破面率、横膨張率測定 of 自動化が今後の課題となつている。

(ii) 硬さ試験

硬さ試験の自動化として、従来から確立している薄板の全自動ロックウェル硬度計に加え、ビッカース硬度の自動化技術が進歩した。特に圧痕計測において TV カメラを通してモニターされた圧痕情報を画像処理技術を利用して自動計測する方法とイメージセンサーにて直接的に検出し、ソフト処理する方法の2通りの技術が開発され、ビッカース硬度測定 of 全自動化が可能となつた。

ブリネル硬度は製造の中間あるいは最終工程での硬度特性チェック用として、オンライン測定装置が出現した。ただしこの場合、圧痕直径から硬度値を算出する通常の方法とは異なり、ロックウェル硬度のように前後2回の予備荷重における圧子荷重方向の変位差を求め、実

験式により、ブリネル硬度を換算する方法である。この装置には特殊な試料クランプ機構および高精度の変位計が必要である。このほか、冷延 CAPL ライン後面にフライングパンチングマシンと自動硬度計を配置し、コイル通板ラインから直接硬度試験片を自動サンプリングし、連続してロックウェル硬度を測定するインライン硬度測定の例もある。

(iii) 各種成形性試験

r 値試験については前述の全自動薄板引張試験機で自動処理されるものが一般的であるが、横型引張負荷本体をベースに、横スライド式自動伸び計、自動幅計を内蔵した専用型の自動 r 値測定装置もある。一方、コニカルカップ測定も円形ブランクをセットすると自動的にカップ成形し、カップ上縁の外径を自動計測する全自動機が開発され、エリクセン試験機も最近、試験片搬送、潤滑油塗布、JIS A 法ギャップ設定、絞り負荷、破断検出、残片回収までの一連の工程が全自動制御されているものが出現した。

(c) 試験データ処理技術

現在導入されている試験データ処理システムの概要を述べると、上位生産管理用 CPU から試験室に設置されたホスト CPU に試験作業指示をカードで受け、カードに記載の加工条件、試験条件にて加工、試験作業を処理している。試験結果は逆にホスト CPU から、上位機械試験用データバンクに伝送され、ここでミルシートの発行処理を行う。試験室への CPU 導入は一般化しているものの、いわゆるダイレクト加工、試験指示およびワークの自動トラッキング処理の面からみると、まだまだ完成したものとは言い難く、相変わらず人とカードがワークに随伴しているのが現状である。この現状を打破するには、各加工、試験設備の自動化だけに満足せず、試験データ処理システムをも含めた試験室全体の FA 化、FMS 化の確立が不可欠である。搬入された試験材の識別管理、加工機への加工指示、試験機への試験指示および得られた試験結果のフィードバックが一連のシステムの中で自動処理できれば、試験室の夜間無人化運転が実現するばかりでなく、進捗管理、作業実績管理、設備稼働率管理等、現状、人に依存している各種情報が容易に入手でき、付帯作業の大幅な効率化が期待できる。生産管理システム、出荷管理システムのよりいつその充実化に伴い、この試験データ処理システムの果たす役割は極めて重要で、その質的レベルアップが今後の大きな課題と言えよう。

(d) 材質試験の代替化技術とオンライン化技術

操業管理試験は製造中間時点での材質把握が主目的であり、例えば熱処理後の材質強度レベルを中間的に試験

チェックし、狙いどおりの特性が確保されていることを確認したのち、次工程へ送るという方式が一般に取られている。この試験は製造スケジュールとの関連から、試験処理時間が厳しく制約され、試験サイドの作業進捗を大幅に狂わす要因ともなっている。試験処理タイミングが生産計画に大きく影響することは理解されても現行の機械試験法では、試験片の運搬、加工、試験作業に一定時間消費することは必然である。この問題点を克服するため、材質試験の代替化技術の検討が進められている。試験片加工が省略でき、なおかつ引張試験より迅速に試験処理できる方法を開発することがその対応策であり、例えば硬度特性とか磁気特性で代替することが考えられる。現在検討中のものに厚板、パイプ対象として前述のオンライン HB 硬度計があり、この装置とよく類似したもので微分硬度計も開発された。微分硬度計とは 5~10 mm の鋼球圧子を材料表面に押し付け、ある設定された試験荷重に至るまでの荷重-くぼみ変位関係曲線を微分解析し、その勾配から微分硬度値を検出するものである。また超音波が鋼中を伝播する際に生じる減衰を利用して非破壊的に鋼の結晶粒度を測定する超音波粒度計も最近開発された。これらの装置はいずれも単独でインライン検査に適用できるが例えば引張特性が必要な場合、この硬度特性、粒度情報から代替推定することも考えられる。オンライン HB 硬度計あるいは微分硬度計と超音波粒度計を併用し、更に必要な製造条件データを援用してやることにより、硬度特性、粒度情報以外に引張り諸特性の推定も可能と思われる。ただしこの場合事前に、引張特性推定用の回帰式を求めておくことが必要である。

一方薄板では、代替手段として磁気的方法を用いることが検討され、材料の保磁力、透磁率、残留磁束密度等の磁気的特性がロックウェル硬度と相関関係があることから、硬度特性をオンラインで非破壊で連続測定しようとするものである。

現状の機械試験に替わる信頼性の高い代替試験技術が確立すればオンライン材質判定の念願が達成され、抜取検査の盲点（製品全体保証）、破壊試験の不合理性（試験材採取による歩留り低下、試験コスト）、および試験タイミング等の問題が一気に解決でき、理想的な品質保証体制が確立されるであろう。

(3) 非破壊試験法

電磁超音波、熱間渦流探傷など、新しい非破壊試験技術が開発された。また従来の非破壊試験法も欠陥能力向上、信頼性向上、自動化・システム化などを図り、多くの改善・開発がなされた。以下、製品別に非破壊試験法の進歩を振り返ってみる。

(a) 厚板

厚板は、連铸材になつて対象とする欠陥の大きさは小さくなり、更にほぼ全肉厚にわたつて探傷することが必要になつた。また探傷対象材の割合が増加し、手探傷では対応することが困難になつてきた。このような背景から、厚板全面を1~3回の走査でカバーすることが可能な自動超音波探傷装置が開発された。これに使用される分割形垂直探触子は表層不感帯が3mm以下であり、距離振幅特性も3~60mmにわたつて、0~6dBである。しかも板中心部で2mmφ平底穴相当まで検出可能である。この装置の開発により超音波探傷の信頼性向上と大幅な処理能力アップが達成された。JIS G 0901-1983 建築用鋼板の超音波探傷試験による等級分類と判定基準が制定された。これに基づく試験に上記自動超音波探傷装置を容易に適用することができる。

さらに厚板のHIC評価や微細な非金属介在物分布の調査のために、CスキャンUT装置が開発された。これは、試料を水槽の中に入れ、比較的高い周波数(5~25MHz)の収束形の探触子で、Cスキャン走査を行うものである。多くはコンピュータ化されており、Cスコープ像および断面のBスコープ像が得られ、欠陥面積率などの算出を行う。HICテストでは特定の断面についてのみしか評価できないのに対し、Cスキャン装置では、試料全面の評価が可能であり、厚板の品質評価には不可欠の装置になつている。

(b) 薄板

薄板の内部欠陥には超音波板波法が用いられる。送信パルスの波数をバースト波形(波数10数波以上)にすることにより、板波特有の速度分散効果を減少させ、しかも総合感度を向上させることによつて、欠陥検出の信頼性を向上させることが図られた。

表面傷検出については、まだ完全に検査員にとつてかわる段階にはなつていないが、表面傷検出装置と検査員とがマン・マシンのシステムを構成することにより、検査精度の向上、ライン高速化が図られてきている。光学式表面傷検出装置の問題点であつた塗油むらなどの誤検出(傷でない不連続を傷とする誤り)は、検査面の均一化(均一塗油など)や傷検出装置に若干の傷判別能力を持たせることにより、解決してきている。しかし、依然として、特定の傷については、光学式表面傷検出装置ではほとんど検出できない傷もある。また、傷の種類・グレード判別能力も不足しており、検査員の省力を行うためには、更に今後の開発が要請される。

DI 缶用材料は、極めて高度の加工を受けるため、薄板中に体積0.0005mm³以上の介在物が存在すると、加工割れが発生すると考えられている。そのため、薄板中

の介在物を極度に減少させる努力がなされた。この薄板中の介在物検出のために、直流磁化極間式磁粉探傷法が開発された。

(c) 鋼管

油井管、ラインパイプの使用環境が厳しくなるに伴い、非破壊試験に対する要求もより厳しく、かつ厳密になつてきた。また、機械構造用などでは、軽量化、低廉化などを狙つて、棒鋼の代わりに鋼管を、また継目無鋼管の代わりに電縫管を用いるという動きがあつた。これらは通常冷間加工度が高く、しかも強度部材として用いられるところから、品質に対する要求は極めて厳しい。鋼管製造プロセスの中では、オンラインでの早期の品質情報の把握や工場全体の品質情報システムの構築が指向された。以上のような背景の中で、非破壊試験もそれらに対応して開発が進められた。それらのうち二、三について以下に述べる。

油井管などに対し、漏洩磁束探傷試験装置が次々に導入された。NDIS3404-81 漏洩磁束探傷試験方法が制定された。鋼管超音波探傷の信頼性向上が進められた。例えば探触子をシームに追従させるため、シーム位置検出器が、UO鋼管について渦流式のものと光学式のものが開発された。電縫管については、ビードを切削し、かつ熱処理を行うと、シーム位置の判別は電磁氣的性質からはほとんど不可能であるが、メタルフローによる横波超音波の散乱を利用した、電磁超音波法シーム位置検出装置が開発された。

継目無鋼管および小径電縫鋼管に対し、従来より高速・精密化された多チャンネル探触子回転式超音波探傷装置が開発され、数多く導入された。継目無鋼管では早期に熱間で肉厚および偏肉情報を得ることが重要である。これに対し、ガンマ線肉厚計および電磁超音波肉厚計が開発された。

標準化という点では、新たに、JIS G 0581-1978(鋼管の超音波探傷検査法)およびJIS G 0583-1978(鋼管のか(渦)流探傷検査方法)が制定され、それと同時に各種JIS鋼管で水圧試験の代替試験として超音波または渦流探傷試験が鋼管製造者オプションでできるようになつた。さらに特別品質規定として、需要家が規格で規定されたオプションの非破壊試験を指定できるようになつた。

(d) 棒鋼・線材

丸棒鋼の表層(表面下)にある点状の微細欠陥(0.3mmφ)について、超音波収束ビームを内側から表層に向けて投射することにより、検出する技術が開発された。

線材の熱間探傷は、貫通コイルを用いた渦流探傷が行われているが、シーム傷などの線状傷の検出は困難であ

つた。これに対し、フローデンスティモニター回路が開発された。これは、長いシーム傷があると、渦流探傷信号はノイズレベルより若干高くなり、しかも長く続くから、この信号を積分することによつて、シーム傷を検出するというものである。さらに、より積極的にプローブコイルを使用し、それを線材の周りを回転させる、プローブ回転式渦流探傷装置が開発された。深さ $0.2\text{ mm} \times$ 長さ 20 mm (線材径 $27.2\text{ mm}\phi$) の人工欠陥が $S/N \geq 3$ で検出可能である。

(e) 半製品

(i) スラブ

熱間装入または直送圧延のために、光学方式、誘導加熱方式および渦流方式などの熱間表面傷検出装置の開発が進められた。光学式では、光源として自発光を利用す

るもの、高圧水銀灯を用いるもの、レーザ走査のものなどがあり、受光素子も撮像管、イメージセンサー、光電子増倍管、写真フィルムなど、各種試みられた。しかし対象とするスラブの表面温度が上昇したこと、欠陥深さ情報を得たいことなどから、渦流探傷方式が主流になりつつある。熱間スラブの内部欠陥については、電磁超音波を利用した装置が開発された。

(ii) ビレット

表面傷検査を自動化するものとして、漏洩磁束探傷、渦流探傷、磁粉探傷+ITV または光電子増倍管、表面波超音波探傷などを用いた各種装置が開発された。熱間表面傷検出としては、渦流探傷の適用が試みられている。