

却ロールが実用化されたが、水路構造の改善による冷却性能向上や製造コストの低減が進められた。

高張力鋼板の製造プロセスでは再結晶温度から $150^{\circ}\text{C}/\text{s}$ を越える速度で急速に冷却させることにより高張力鋼を製造するニーズがある。この場合、非常に大きい冷却能力が必要となり、例えば厚さ 0.5 mm の鋼板を 700°C から 300°C まで $150^{\circ}\text{C}/\text{s}$ で冷却させるためには約 $500\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ の熱伝達率が必要とされる。このような熱伝達率は従来の窒素ガスを主成分とする HN ガスによるガスジェット冷却では達成不可能であり、ミスト冷却あるいは浸漬冷却等の水の沸騰を利用した冷却方式が採用されることになるが、板変形や表面酸化といったデメリットがある。これに対して還元雰囲気を持続したまま急速冷却を実現するための手段として冷却媒体に水素ガスを使用したガスジェット冷却が検討された。水素ガスは、窒素を主成分とする HN ガスに比べ非常に大きい熱伝達率を持つため同一噴流条件において約2倍の高い冷却性能を得ることができ、ノズル配置や噴出速度を適正化することにより $500\text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ を越える熱伝達率を得られる可能性がある。一方、水素ガスジェット冷却における課題は、加熱ゾーンと冷却ゾーンのガス混合を防止するためのガスシール技術、水素ガス循環系の安全性確保等があり、今後の実用化研究の進展が期待される。

(3) 今後の展望

圧延プロセス、熱処理プロセスにおいて、品質向上、生産性向上、省エネルギーに寄与する技術の中で、特に進展の著しいものあるいは進展が期待されるものについて述べた。

製鉄プロセスにおける加熱・冷却技術は、今後は、特に材質均一化や強度特性向上といった製品品質向上のための、よりシビアな加熱・冷却の制御技術への要求や環境問題にも配慮した省エネルギー、低公害の加熱・冷却技術への要求が高まってくることが予想される。これに対しては、現象のより深い探求による既存技術のブラシアップと電磁気や熱化学の領域にまで踏み込んだ新しい発想による加熱・冷却技術との融合により、今後とも様々なプロセスの要求や改善に応じていくことが必要となるであろう。

3.3.3 操業プロセス技術

鉄鋼生産は量的には大幅な拡大の望めない時代となったが、図3.8に示すように特にこの数年は輸出の増大によって熱延鋼板の生産が大きく増加し、粗鋼生産においても1億トンを超えた生産量になっている。国内での新しい圧延ラインの建設はリフレッシュも含めて熱延で2件、冷延で1件であり、熱延では1980年以來の建設で、これらの圧延機には新しい技術が盛り込まれた。自動車、家電製造などのユーザで

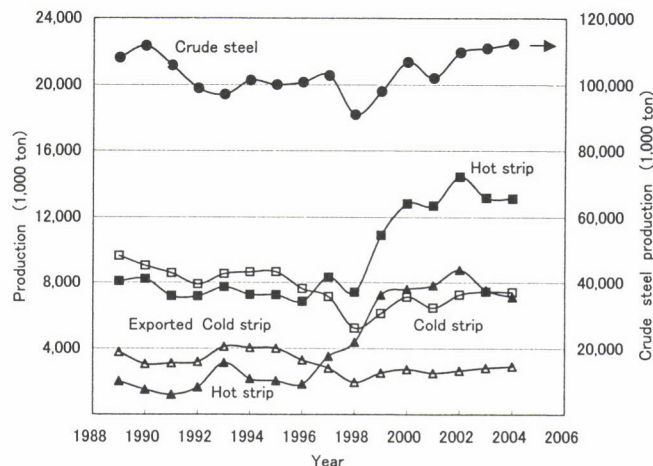


図3.8 国内粗鋼生産量および熱・冷延薄鋼板の生産・輸出量の年変化 (日本鉄鋼連盟資料より)

のより効率的な生産や、省エネルギーのために、寸法・平坦度精度の高い薄板製品や、高張力鋼板のニーズが高まり、これらに対応するために既存設備を最大活用する技術として、種々の現代制御理論が実操業に採用されてきている。

(1) 熱延薄板圧延の操業プロセス技術

この10年の熱間圧延の特筆すべき技術は長年の夢であったエンドレス熱延が実現し、従来 1.2 mm が限界とされていた最小薄板をより薄く、 0.9 mm 程度までの熱延鋼板が製造されるようになったことである。さらに、コイル先後端の非定常圧延状態が少なくなることによる歩留まりの向上や、薄物圧延時に頻発する通板トラブルの解消などの効率化が達成された。このためには、粗バー接続技術がキーとなる技術であるが、誘導加熱やレーザーによる溶接で実現されている。実操業に適用されていないが、剪断接合技術なども開発されている。また、極薄圧延において寸法の精度を確保するためには、スタンド間のルーパーによる張力制御が重要になってくるが、油圧駆動によるルーパーや、外乱を予測するオブザーバー張力制御、 H_{∞} 制御などが実用化している。

熱延での板厚制御技術のこの10年の主な課題は、圧延開始時の非定常圧延状態における板厚精度の向上であった。これは定常部の板厚精度はモータのAC化による速度制御の高応答化や、ゲインの最適化を図るロバスト制御、スミス補償による計測の遅れの補償などによってほぼ目標に達しているのに対して、圧延開始時の板厚精度は、セットアップの精度に大きく左右され、圧延荷重、変形抵抗、温度、先進率などの理論モデルの誤差や、圧延機のミル剛性、ロールギャップ設定の誤差が重なり合っている複雑な現象であるからである。このような各理論モデルの精度を向上させることはもとより、ファジー推論によってダイナミックにセットアップを

修正する方法、ニューラルネットワーク、遺伝的最適化プログラムなどによって圧延荷重推定精度を向上させる方法など新しい考え方の制御方法が適用されている。また、仕上げ圧延機列の途中のスタンド間に板厚計を設置して中間スタンドでの板厚制御に用いる方法も上記の方法と組み合わせて適用されている。

薄物圧延の噛み込み時、尻抜け時の絞込みについては、圧延スタンドの左右の荷重差を検出してレベリングにフィードバックするシステムが試みられているが、圧延機のガタなどまだ完全には解決していない要因などもあって、依然としてオペレータの介入が必要である。

板厚の制御は従来粗圧延機列で行われてきたが、サイジングプレスの採用が一般化して、スラブの幅大圧下と精度の向上が実現した。このため、仕上げ圧延機列では、スタンド間、ランナウトテーブルでの張力変動などによる幅変動を最小化するのみでなく、積極的に幅制御を行うための、スタンド間の張力制御を行う技術が適用されている。

熱間圧延の圧延スケジュールの設定においては前後のコイルの板厚、板幅、材質の変化に制限を加えて圧延順番を決め、ロール摩耗、熱膨張の影響や、セットアップの誤差の影響を小さくしてきたが、小ロット化した注文への対応や、在庫の削減などを達成するためにこの制約を取り払う技術としてスケジュールフリーが望まれてきた。この目的でワークロールのオンラインラインディンク技術や、オンラインロールプロフィール計測技術が適用されている。また、ロール摩耗を減少させるための技術として、熱間潤滑材の使用が一般化している。さらに、摩耗量の少ないロール材質としてハイス鋼の適用が行き渡っている。しかしながら、根本的な技術として前記セットアップ精度の問題が完全には解決されておらず、更なるステップアップが必要であろう。

環境保護の目的で、添加元素を増やさずに高強度の鋼を製造する技術として、結晶粒の微細化圧延技術が実用化されている。これは仕上げ圧延後段にて、小径異周速圧延を適用して低温高圧下圧延を実現することによって約 $3\text{ }\mu\text{m}$ の結晶粒を得ることに成功したものである。 $1\text{ }\mu\text{m}$ という更なる超微細化が国家プロジェクトとして検討されているが、実機化は目処が立っていない状況である。

自動車の環境対策としての軽量化を支えている高張力鋼板はさらに高強度化がすすみ、 100 kg/mm^2 台に達している。熱延鋼板の高張力化も加工熱処理技術の適用が試みられているが、コイル先後端の非定常部の材質確保が課題であり、仕上げ直前での粗バー加熱による温度補償や、ランナウトテーブルでの冷却制御の高精度化によって解決が図られてきた。さらに仕上げ圧延機出口直近に従来のスプレーの数倍の冷却能力を備えた冷却装置を設置して、積極的に材質の制御を行

う方法が実機化し、熱延での幅広い材質の作り分けが可能となってきた。超微細粒鋼の研究とあわせて、このような操業による材質制御の高精度化のための材質予測の整備が必要であり、この分野における今後の発展に期待したい。

熱延製品の表面品質に対しても、いくつかの進歩が見られた。圧延表面の性質に大きな影響を与える酸化スケールの研究が行われて、高圧水を用いたデスクーリング装置が実用化している。また、ロール疵の発生は製品品質へ決定的にダメージを与えるものであり、早期の発見が不可欠であるが、オンラインで検出する技術も適用されている。

(2) 冷間圧延の操業プロセス技術

幅方向の板厚分布である板プロフィールや、伸びの幅方向偏差である平坦度については、1960年代からの30年間の研究開発の成果を受けて、各種の技術が実用化された。特に冷間圧延では鉄鋼の最終製品としての寸法精度が重要であり、歩留まりの向上を目指したプロフィール制御が実用化された。冷間圧延では幅中央部付近の板厚分布は変更することは難しく、幅端部から板厚の10～30倍の範囲での板厚分布（エッジドロップ）が変更可能である。この制御を行う技術として、片テーパワークロールシフトが冷間タンデムミルの前段スタンドへ導入され、大きな成果をあげている。また、熱間圧延機に多く採用されているベアクロス圧延機が冷間圧延機としても採用され、前段でのエッジドロップ制御効果が確認されている。更に、これらの二つを組み合わせたミルも検討されている。このような制御装置によるエッジドロップ制御の効果の違いや、板厚などの圧延条件による効果の違いなどは、まだ系統的に研究されていないため、ミルセットアップなどでの予測制御には、学習制御が主となっている。

形状制御の手段は過去10年間でほぼ出そろった感があり、これらのハードを効率的に制御するためのソフトとして、ファジー制御やニューラルネットワーク制御などが適用された。また、幅方向に非対称、局所的な形状不良については、ロールの形状を弾性変形によってコントロールする方法では対応がとれず、ロール冷却制御を自動化する技術が導入され、効果をあげている。

板厚制御については、従来のフィードバック制御の限界を越えるために、外乱推定オブザーバー制御、ファジー・ロバスト制御などが実用化されて、最適なゲイン設定が可能となった。更にタンデムミルの全スタンド間に板厚計、速度計を導入してフィードバック、フィードフィワード制御を行って板厚精度を飛躍的に向上させたミルも実現した。これらの制御の応答性を向上させるために、油圧圧下、主駆動モータのAC化が本格化し、ソフトと相まって制御効果を向上させてきている。

飲料缶用等の冷延薄板は、アルミニウムに対抗してより薄厚化がすすみ、タンデムミルの生産効率化のために高速化が要求され、2,800 m/分の高速タンデム圧延機が実現した。これはロール軸受けなどのハード的な対策や、圧延潤滑油、冷却の強化などが解決された結果である。このような高速圧延時のトラブルとして焼き付きや、スリップ、チャタリングと呼ばれる振動現象があるが、圧延機の振動をモニタリングする方法、ロールの材質として炭化物を析出させるものなどが適用され、高速圧延の安定化を達成してきている。

冷延製品の欠陥の問題は製造上避けてとおれないものであり、欠陥の発生を無くす努力は日々続けられて、ロール疵による欠陥などは圧延機列のなかでの検出によって、損失を最小限にするシステムが実用化している。また、出荷直前での検査によって検出された欠陥部分は従来切り捨てられ、コイルが分断された形で出荷されていたが、この部分にマークをつけて、ユーザ側でこの部分を使用しないようにする方法がシステム化されて、コイル分割によるデメリットを避けることができるようになった。

薄板圧延の板厚制御、形状・プロファイル制御ともに、ハード的な開発はほぼ達成された状態であると考えられる。また、現代制御理論を駆使して、複雑な要因による誤差をさまざまな方法で解決しようとする努力がなされて来ている。しかしながら、これらの制御、操業の安定性のためには、操業状態を一定にする機械装置の安定性や、制御のよりどころとなる情報を検出するセンサーの信頼性を左右する、メンテナンス技術が重要になってくると考えられる。この分野については、自動化、コンピューター化では置き換われないものであり、周辺技術としての重要性が今後ますます高まるものと考えられる。

3.4 条鋼圧延技術の進歩

3.4.1 形鋼圧延

形鋼の圧延技術・圧延設備のここ10年の進展は、特に軌条・鋼矢板・H形鋼等の大形形鋼の分野で著しい。軌条の分野については、以前より圧延の一部をユニバーサルミルで行っていたが、世界の多くのミルでは複数台の2重式圧延機で孔型圧延を使用し製造していた。しかし、製品の寸法、品質要求の高度化やロールコスト低減目的から、中間圧延や仕上げ圧延工程をユニバーサルミルで行う技術が主流になってきている。この軌条の圧延方法の例としては図3.9のようにフランスやオーストラリアがある。

次に鋼矢板については製品寸法的大型化が行われた。従来は400 mm幅のU形鋼矢板が主流であり、CC プルームを素

材として準備角より8～10個の孔型を用いて製品形状に造形していた。一般的には、3～4台の2重式圧延機で往復圧延で製造されているが、H形鋼のミルラインでH形鋼用のスタンドを交換せずロールだけ交換し鋼矢板を製造する方法が開発された。H形鋼用のユニバーサルミル粗ミル、仕上ミル水平ロールに孔型を刻設し、BD—UR/E/UFのミル配列で6個の造形孔型で(BD:3, UR:1, E:1, UF:1)生産する技術である。

また、矢板壁コーナに使用される特殊な鋼矢板に対し、従来は非対称の継ぎ手を有する鋼矢板を溶接で製作していたが、これが熱間圧延で製造されるようになった。

一方、工事の大型化や施工能率の向上要望から鋼矢板の製品寸法は400 mmから600 mmに拡大され仮設以外の分野では600 mm幅のU形鋼矢板が主流となった。また、狭隘地で使用される鋼矢板で、図3.10の上部に示すような左右非対称ハット型600 mm幅の鋼矢板が開発された。このハット形状の鋼矢板は、U型鋼矢板に比べ断面性能が優れ施工速度が速いため、2004年に600 mm幅のU形鋼矢板の代替として図3.10の下部に示すような900 mm幅のハット型鋼矢板が開発され、2005年度から本格的に商品化される。

H形鋼については、従来のH形鋼が内法一定であったのに対し、外法一定のH形鋼が商品化されたことにより新しい圧延設備が開発された。たとえば、水平ロールの幅をオンラインで変更できるロールや圧延材のウェブ内幅を拡大するスキュー圧延機である。また、内法深さが同一シリーズでもサイズ毎に異なるため、エッジミルの孔型深さを可変とする偏芯エッジミルも実用化されている。

外法一定H形鋼は従来の大形の溶接H形鋼の代替を目的

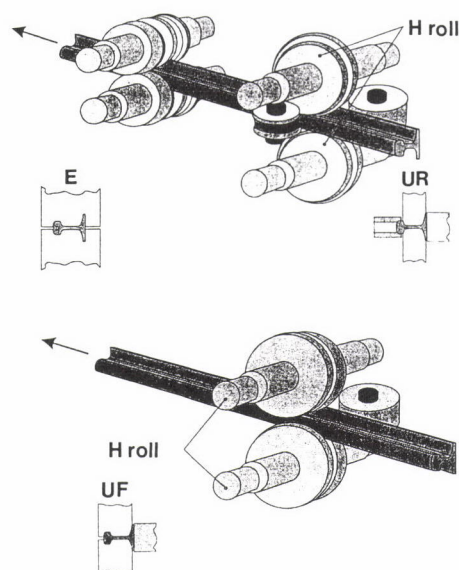


図3.9 軌条のユニバーサル圧延