鋼板の連続圧延の進歩

岡 戸 克*

1. ま え が き

エネルギー危機を契機として、近年の日本鉄鋼業をとりまく環境変化は著しいものがある。特に、(1)資源・エネルギー価格の高騰、(2)価値観の転換、(3)環境問題に対する関心の高まりなどがその主なものと言える。この結果、鉄鋼の薄板生産の大半を担うストリップミルに関する技術の展開も、大きな影響を受けてきている。従来高生産性、高能率を極限まで押し進めてきたストリップミルの圧延技術は、その技術ポテンシャルを活用し、圧延理論を武器に更に飛躍しようとしている。

ここでは従来技術の到達点とも言える、世界最高水準に達した薄板の連続圧延に関する諸技術を展望すると共に、その中に既に現れ始めた新時代へ対処する新しい考え方を具現した技術にも触れてみたいと思う。

2. 熱間連続圧延技術

鋼板の熱間連続圧延を行なうホットストリップミルにおける近年の技術進歩には著しいものがある。その第1は、新規設備建設毎にみられた設備の大型化・高速化指向である。最近では生産量向上のための大型化の傾向は影をうすくしたが、一部設備機器の更新はたえまなく行なわれている。第2点は省エネルギーのニーズに対応した改良技術および操業に関する進歩であろう。初期の予想を上回る効果を発揮しつつあると言えよう。第3点は省資源とも言える歩留り向上に関する諸技術の積極的な採用とそれにとりまなう操業技術の向上である。

その外、材質の向上、検査技術の進歩など著しい点が多く有るが、ここでは以上3点に関しその進歩の経過を振り返ってみることとする。

(1) 設備の大型化・高速化⁽¹⁾⁽²⁾

圧延設備の規模は通常コイル単重と単位幅あたりの単重(PIW)とで比較される。まず前者のコイル単重は、15年前に20tであったものが、最近では46tに達している(図1)。PIWは同じく100~180 kN/mのものが、

200~290 kN/mに上昇している。一方圧延材の幅は、ラインパイプ用素材の広幅化傾向に応じて、最近では2000~2300 mm となってきた。

仕上圧延機においては高速化が図られており、1960年における13.3 m/sの最高速度が、近年では、25 m/sと2倍に近い上昇を示している(図2)。この高速化は、仕上げスタンド数の6から7への増加、ロール軸受の進歩、自動板厚制御(AGC)技術の向上などにより達成された。

仕上圧延機入側に設置されるクロップシャは、省エネルギーの要求を満たすべく増加した粗出口板厚に対応して25 mmより50~80 mmへと大幅な能力強化がなされてきている。仕上板厚はラインパイプ用材の需要に応

図1 ホットストリップミルにおける最大スラブ単重の推移。

図2 仕上圧延機最高圧延速度の変化。

* 日本鋼管株式会社技術研究所圧延研究室主任部員
A Progress in Continuous Strip Rolling of Steel; Masaru Okado (Technical Research Center, Nippon, Kokan K.K., Kawasaki)
1979年11月8日受理

じて12 mm より16~25 mm へと上昇し、これに対応する巻取機が設置されている。

近年のホットストリップミルの大型化傾向はこのように著しいものがあるが、今後も、省エネルギー、高品質化のニーズに対応した設備更新が続けられていくこととなる。

(2) 省エネルギー圧延技術

圧延における狭い意味での省エネルギーは、圧延素材温度、圧延速度を与えられた時の圧延動力の低減である。この点に関する最近の技術の1つは、圧延潤滑油の適用である。従来ロールの冷却に水しか用いていなかった仕上圧延機に、潤滑油を供給することにより、圧延動力の20%程度の低減を得、加えてロール原単位の大幅な向上が確認されている(図3)。もう一つの省エネルギー圧延は、上、下ワークロールの異周速圧延である。仕上圧延機後段スタンドにおいて実用化した例では、40%の動力低減効果が報告されている(4)。

図3 熱間潤滑による仕上圧延機ワークロールの摩耗量への影響(住友金属和歌山製鉄所の例⁽³⁾)。

熱間圧延プロセス全体の広義の省エネルギーの観点からは、加熱炉の燃料原単位の低減が強力に進められている。適用されている技術としては、第1に加熱炉よりの材料抽出温度の低下、第2に炉内水冷パイプ類の断熱性の向上、第3に廃ガス熱量の有効利用、第4にスラブを高温で装入するホットチャージ技術、加熱炉を経ないで直接分塊工程より圧延するダイレクトローリング技術である。この結果、燃料原単位は1 t 当り1.25 GJ 以下の加熱炉が現れている(図4)⁽⁵⁾。

この低温材圧延を中心とした省エネルギーに貢献した圧延技術は、次の3点であろう。第1は、低温材の限界圧延量を把握可能とした粗圧延機の所要圧下力、圧延動力、かみ込み時の尖頭負荷の定量化、第2に粗圧延機出側のディレーテーブル上での温度低下を最小とするために粗圧延機出口板厚増を可能としたクロップシャ能力向上および、保熱カバーの採用、第3に、圧延時間を短縮化ならしめた圧延速度の上昇である。

図4 熱延加熱炉燃料原単位の変化。(新日鉄堺製鉄所の例⁽⁵⁾)。

今後は、連続鋳造材の急激な増加をふまえ、省エネルギー達成のため、連铸と熱間圧延工程のより一体化した運用、連結化の方向がとられていくこととなる。

(3) 歩留り・品質向上技術

熱延工程の歩留りのロスは、スケールが最も大きい。この減少に関しては著しい技術進歩は今のところは見られていない。しかし、低温加熱、温片装入などの普及に伴い近年かなりの低減がみられてきている。

粗圧延時終了後に切断するシートバー先、後端部のクロップによるロス2番目に大きく、スラブ単重の増加、ノーカット対象量の増加により効果を得ている(図5)。

図5 熱延における平均スラブ単重と歩留り。

次工程の歩留りに影響するコイルの幅精度は、近年集中的な研究が行なわれ、進歩のみられる技術である。その第1は、所望のコイル幅を得るため、粗圧延機エッジ設定に関し、板端部の局部変形と幅拡がりの定量化が積極的に進められ、設定精度向上がはかられたことである。第2は、コイル先、後端部の幅狭を解消するためのエッジパススケジュールの最適化と、コイル長手方向幅精度向上のための、自動板幅制御(AWC)の採用が開始されたことである(図6)⁽⁶⁾。第3は、仕上圧延機における張力の影響を最小とすべくルーバーの検討が行なわれ、油圧ルーバーなど高応答性への切り替えがみられてきたことである。

図6 自動板幅制御システムの構成例⁽⁶⁾。

品質向上技術の代表例は、コイルの断面プロフィールに関してであろう。圧延中の仕上圧延機群のワークロールのたわみによって生じるプロフィールの中高傾向を極力小さくするため、努力がはらわれてきている。第1に、仕上圧延パススケジュールを後段で軽負荷とする操業技術。第2に、ワークロールのたわみを小さくするために、バックアップロールの両端部を径小に研削する技術。第3に、積極的にワークロールのたわみを強力なロールベンダーで矯正する技術などが採用されている。

その外コイルの曲り、いわゆるキャンパーに関して、要因の分析とサイドガイド外の改造による防止技術の採用、長手方向板厚精度向上に関して、自動板厚制御（AGC）の新方式の適用、厚物巻取時に発生するトップマークを防止する新マンドレル方式コイラーの出現など進歩の著しい例であろう⁽²⁾。

一方、形状計、プロフィール計などオンラインでの検出器の進歩も大きな貢献をはたしてきた⁽⁷⁾。

今後は、連铸スラブの有効利用を図るため、圧延における幅変更量の拡大技術、およびロール摩耗を中心とした圧延サイクルの条件を緩和するプロフィール制御技術の進歩への努力が続けられることとなる。

3. 冷間連続圧延技術⁽⁸⁾⁽⁹⁾

冷間圧延鋼板の大半が製造されるコールドタンデムミルに関する近年の技術進歩は、以下の3点にまとめられる。第1は、積極的な設備投資の下での設備の大型化・高速化であり、粗鋼生産量に比しこの20年間で生産量の伸びは2.6倍にまで達している。第2は最終圧延製品となることをふまえた品質、特に平坦度向上に関する制御範囲拡大の技術と検出計に関する諸技術の進歩である。第3は、計算機および制御技術の発達に支えられた

高度な自動制御技術の実用化と、圧延理論の発展をふまえた革新技術の実現であり、代表例を完全連続式冷間圧延機にみることができる。この外、タンデムミルの前工程の酸洗ライン、次工程の焼鈍ラインで革新技術が適用されてきており、日本の新技術が次々と成果をあげているのが冷間圧延プロセスの現状と言えよう。

(1) 設備・制御技術⁽¹⁰⁾

熱延コイルの大型化、広幅化に応じてコールドストリップミルの設備も大型化されてきた。その一例として全スタンド主電動機容量をみると、図7のように40000 kWのミルも出現している。コイル単重も15年前の30 tより60 tへと倍増してきている。最高圧延速度は、5スタンドミルでは主に圧延潤滑面の限界により、ここ10年あまり30 m/sにとどまっているが、6スタンドミルの出現により41.7 m/sに増加してきた。

一方、制御技術の発達は品質面においても注目すべき技術的進歩をもたらしている。板厚に関しては、油圧圧下ミルの実現があげられる。従来電動モータで制御してきたロールの圧下機構を油圧を利用して制御する構造で、従来の10倍以上の高速応答性を備え、高精度なロール位置制御を実現している（図8）。またミル剛性を可変とする制御を可能としたことも板厚精度向上に大きく寄与した。加減速圧延時における軸受の油膜厚変動にもなる板厚変動を減少させる補償制御にダイナミックコントロールが採用され、更にローラベアリングも出現し

図7 冷延タンデムミルの主電動機容量の推移。

図8 各圧下方式の応答特性。

ている。これら新技術を駆使して、自動板厚制御(AGC)の進歩も著しい。従来のゲージメータ方式に加えて、フィードフォワードの概念が取り入れられ、マスフローAGCなどが実用化されている。

圧延潤滑油関連の技術も着実に進歩してきており、ミルクリーン圧延の範囲拡大、エマルジョン供給法の改良、耐油膜強度評価の確立などが進められている。

今後の圧延設備の大きな方向は、設備投資を極力効率化する、大圧下圧延を可能とする諸技術の採用となるう。

(2) 形状制御技術

冷間圧延における平坦度(形状)制御の技術は、困難なもの1つであった。それは第1に、制御手段が確立されていなかったこと、第2に、形状不良状態の検出が目視で困難な上、検出器が開発途上にあったことである。しかしこれらは近年著しい発達をとげた。

形状制御手段としては、従来ワークロールベンダとロール冷却水の幅方向制御の2つが主であった。しかし、近年6段ミルが実用に供された(図9)⁽¹¹⁾。これは、従来の4段ミルに幅方向に移動可能な中間ロールを付加し、この中間ロール位置を変更することと、ワークロールベンダの組合せの効果によりロールのたわみを従来より広範囲に制御可能としたもので、すでに数基がタンデムミルで稼動中である。他の形状制御手段として、最終スタンド出側でストリップの幅方向張力を制御する張力分布型形状制御(TDC)が最近実機に適用され、効果を上げている(図10)⁽¹²⁾。これらの新形状制御手段は、ロールベンダとの組合せにより、従来不可能とされていた複合伸びなどの制御にも今後効果を発揮することが期待される。

一方、形状検出器は各社ともいろいろな原理に基づいて開発が進められ、現在では相当数が実用にいたっている⁽⁷⁾。最近では、前述の制御手段を含む形状の自動制御

図9 6段ミルの構成。

図10 張力分布型形状制御システムの構成⁽¹²⁾。

図11 完全連続式冷間圧延機の構成。

システムの実用化が行なわれてきている。

今後は制御手段の多様化が進むと同時に、完全自動制御化へと完成の度をますますこととなろう。

(3) 完全連続式冷間圧延機⁽⁸⁾

通常の冷間圧延作業では、1 コイル毎に通板、尻抜きをとまなうことから、これによる生産能率の低下、コイルの先端部のオフゲージ発生ならびにロールへのかみ込み疵などの問題点がある。これらを解決する目的で、完全連続式圧延機が開発され実ラインにおいて多大の効果をあげている(図 11)。

この連続圧延を可能とした技術は、次の3点である。第1は圧延中に張力変動を過大にすることなく、5 スタンドで順次板厚を変更する走間板厚変更技術であり、圧延理論の発達と計算機関連技術の進歩により可能となった。第2は、この走間板厚変更と、走間せん断に必要なコイル酸洗溶接部を検出するトラッキング技術である。第3は設備関連で、入側コイルのループカー、出側の走間せん断機およびストリップがある状態でのロール組替可能な装置などの開発である。

この完全連続式圧延機の特長は、第1に通板・尻抜き作業が無くなることによる通常の1.5 倍の生産能率の向上、第2に加減速時間の短縮によるオフゲージの1/4への減少、第3に省力化の達成、第4にロール疵の減少がある。

4. む す び

ここ10年薄板の連続圧延に関する諸技術は飛躍的な進歩を遂げた。今後は新時代のニーズに対応して、

連続鋳造と熱延工程の連続化思想の追求、酸洗と冷間圧延工程の結合の方向が追求されてくるものと考えられる。

当然のことながら、計算機を中心とした制御技術、更には計測技術の進歩をふまえた、総合化された新しい熱延、冷延工場のイメージが固まる日も遠くないことが期待される。

文 献

- (1) わが国における最近のホットストリップ設備および製造技術の進歩、特別報告書 No.23, 日本鉄鋼協会, (1976)。
- (2) 鉄鋼業における設備技術, 第57,58回西山記念技術講座, 日本鉄鋼協会, (1979)。
- (3) 小野田克己, 釘宮 肇, 長井俊彦, 田村詔八郎: 住友金属, **30**(1978), 227。
- (4) 神居詮正, 寺門良二: 塑性と加工, **17**(1976), 966。
- (5) 坦田 修: 第68回塑性加工シンポジウム, (1979), 30。
- (6) 瀬濤康徳, 武田曠吉: 昭和52年度塑性加工春季講演会論文集, (1977), 117。
- (7) 薄板圧延における形状検出器とその使用上の問題点, 第61回塑性加工シンポジウム, (1977)。
- (8) 桂 寛一郎: 圧延技術, 日刊工業新聞社, (1971)。
- (9) 圧延研究の進歩と最新の圧延技術, 圧延理論部会20周年記念シンポジウム, 日本鉄鋼協会, (1974)。
- (10) わが国における最近のコールドストリップ設備および製造技術の進歩, 特別報告書 No.26, 日本鉄鋼協会, (1977)。
- (11) 児子 茂, 古谷 尚, 田原正明, 北島聡幸, 平井滋郎, 梶原利幸, 西 英俊: 第26回塑性加工連合講演会論文集, (1975), 53。
- (12) 楯本 紘, 阪口善裕, 岡戸 克, 藤田文夫: 第30回塑性加工連合講演会論文集, (1979), 127。