

今後の塑性加工の分野においても更なる革新的なブレークスルー技術による開発が必要であり、トライボロジー技術の非常に大きな貢献が期待される。さらに21世紀の社会においては環境負荷低減の加工方法の開発に努力する必要がある、そこにおいてもトライボロジー技術の貢献が必要となる。

3.3 板圧延技術の進歩

3.3.1 圧延設備

1990年代半ばからの10年は、設備投資が抑えられた中で興味深い多くの技術が確立された時期でもあり、これらの技術をもとにした圧延設備の新たな展開が期待できる状況にあると考えられる。

(1) 熱間圧延

ホットストリップミルの極限プロセスともいえる完全連続熱間圧延技術が、1996年に実用化された。これは、間欠的に供給される粗圧延材をつなぎ、エンドレス状態で仕上圧延を行う技術である。従来の操業上の課題であった先端の曲がりや尾端の絞りを防ぐことができるので、先頭材を除いて通板速度を上昇でき全長にわたって均一な品質が得られる。また、走間板厚変更技術を使って1.0 mmの極薄鋼板を安定して製造可能とした。さらに、全長にわたり強潤滑や強冷却が可能となるため、品質の飛躍的な向上や新材質鋼板の製造技術として注目される場所である。

このエンドレス圧延実現のために開発された主要技術として、ミルペーシング技術（後行材の追付き制御など）、接合技術、高精度仕上圧延技術（走間板厚変更、高応答板厚制御など）、高速巻取り技術（高速切断、高速通板など）がある。

接合技術は、粗圧延材を温度低下のほとんど生じない十数秒程度の非常に限られた時間内に接合することを要求される。誘導加熱接合やレーザ接合が実機化されているが、2枚重ねしたものをせん断して接合する方法や圧延圧接する方法の検討も報告されている。

2000年には、仕上圧延機のF4-F6スタンドに小径異径片駆動圧延を採用した熱間圧延設備が稼動を開始した。圧延荷重や圧延トルクを軽減し後段大圧下を行い、また、F4-F6スタンド出側に大容量カーテンウォール冷却装置を備え、仕上後段の連続大圧下による加工発熱を抑制している。これにより、引張強度、降伏応力が上昇するとともに疲労特性、加工性、溶接性にも優れた性質をもつフェライト粒径2～5 μm の微細粒組織熱延鋼板の製造が可能となっている。

海外では、50～80 mm程度の薄スラブ連铸設備を備えた熱間圧延プロセスが多数採用されている。1989年にアメリカ

カのCrawfordsvilleでスタートさせて以来、北アメリカ、欧州を中心に発展し、近年では中国において、この薄スラブ連铸設備を有する熱間圧延設備、いわゆるミニミルの建設が盛んとなっている。初期設備費および操業コストの削減を狙い、スクラップ鉄を鉄源とした建材等の生産が主流となっているが、近年では極薄材あるいは自動車用鋼板も視野にいれたラインも建設されている。

さらに、コイル数本分の長尺薄スラブを铸造して仕上圧延を行い、出側で分断して巻き取る、いわゆるセミエンドレス圧延を可能とした熱間圧延設備が稼動している。圧延が不安定な板先尾端部の圧延回数が減り極薄材の製造が可能となり、エンドレス圧延と同様に新材質鋼板製造の可能性をもっている。長尺スラブ圧延時のサーマルクラウン、及び、極薄材の圧延中の板厚変更に対応するためダイナミックペアクロスミルが導入され、また、高速ストリップシャーやカラーゼルタイプのコイラ、ラッパーロールによる巻き付け方式が採用されている。

オンラインロールグラインダは、円盤に砥石をはり付けた研削ホイールを回転させて、ミル内で回転中のロール胴部を研磨するものである。板エッジ形状と表面品質の改善、摩耗プロファイルの修正、作業ロール組替えピッチの延長が確認され熱延で定着しており、今後も適用拡大が期待される。

圧延材噛込み時の衝撃的な水平力の低減、圧延中のミル振動抑制や薄物圧延時の安定性向上を目的としてミルスタビライザが考案されている。このミルスタビライザは、ハウジングとロール軸受箱の間に設置され両者間の隙間をなくし、かつ、油圧系ダンピング効果を期待するものである。熱延を中心に生産性向上に寄与できる技術である。

サイジングプレスは1986年にはじめて熱間薄板圧延ラインで稼動し、日本においては、2004年までに8基が稼動している。スラブの幅大圧下による連铸能力向上や先尾端のクロップロス減少などのメリットがあり、今後も適用が検討されるものと考えられる。

熱延では、薄物化、硬質化、品質の安定化、微細粒鋼圧延などに対しニーズがある。エンドレスあるいはセミエンドレスの採用、オンラインロールグラインダやワークロールシフトによるロール摩耗の影響回避、ミルスタビライザによるミル振動抑制、仕上後段でのワークロール小径化による大圧下、信頼性の高い形状検出器を用いた熱延形状制御技術、各種冷却技術などが今後も検討されていくものと考えられる。

(2) 冷間圧延

冷間圧延の分野では、板厚、板形状、歩留まりなど一貫して製品品質や生産性の向上要求に対応した技術がおりこま

れ、特に、ブリキ材圧延における高速化およびエッジドロップ削減と板形状維持の両立技術などが新しい技術として注目される。

1995年に、バックアップロールのローラベアリング化とACモータ化による速度応答性アップおよび以下に述べる諸機能の組み合わせにより、2,800 m/minのブリキ材高速圧延が実現されている。板厚については、このような高速にもかかわらず上記新機能の採用により、定常部で1.0%以下、加減速部では2.0%以下の長手方向精度が確保されている。No.1スタンドの片テーパワークロールシフト化および最終スタンド出側へのプロファイルメータ設置により、エッジドロップの制御が行われている。高速化にともなうロールの冷却、摩耗削減には、最終スタンドのロール出側面に非接触水切りシールを用いた冷却装置および初期摩耗が少なく長時間の粗度維持性をもつTi添加型ワークロールが採用され、高速化実現に貢献している。

2000年には、日本で最も新しい酸洗直結コールドタンデムミルが稼動を開始した。酸洗前に圧延機式のメカニカルデスケーラを設置しデスケリング効率を向上させ、類似プラントと比べると小径のワークロールをもった全スタンド6Hi-UCミルが採用されている。また、高応答ACモータドライブの適用により板厚・張力非干渉制御を用いて板厚精度向上を図っている。小径ワークロールの採用は形状制御能力を高め平坦な板を、加えてタンデムミル入出にプロファイルメータ、No.1-2間、No.2-3間に簡易式形状検出ロールを配置し、中間ロールシフトなどを利用して、前段において許容する形状の範囲で板プロファイルを調整してエッジドロップを制御する技術が取り入れられている。歩留まりについては、走間板厚変更 (FGC) 修正機能により、仕上板厚0.8 mmでトップ+エンドのオフゲージ長さ1.6 mの達成がなされている。

エッジドロップ削減に関しては、上記の片テーパワークロールシフト適用や小径ワークロールを採用した6Hi-UCミルにおける中間ロールシフトの有効活用以外に、ロールをクロスし圧延するベアクロスミルを前段に、形状維持のために6Hiミルを後段に配置した5スタンドタンデムミルも稼動している。

以上の際立った技術的な流れのほか、特殊鋼や0.1 mm以下の極薄材の圧延用として小径ワークロールを用いた各種の多段ミルが採用されている。

3.3.2 加熱・冷却技術

鋼材の冶金的な品質向上、操業の安定性、生産性の向上、設備の小型化、省エネルギーを実現するために、各々のプロセスにおいて最適な加熱・冷却技術が開発されてきた。近年

では、特に材料性能向上のためによりシビアな加熱・冷却速度の制御技術や環境問題にも配慮した省エネルギー、低公害の加熱・冷却技術の開発が進んだ。

(1) 加熱技術

スラブ加熱炉あるいは冷延鋼板の連続焼鈍炉において、使用エネルギーの低減を狙った蓄熱式のリジェネレーティブバーナーシステムが開発され、多くの設備への適用が進んだ。本システムは一对の交番燃焼式バーナーから構成され、各々のバーナー本体にはセラミックボールあるいはセラミックハニカムで構成された蓄熱体を内蔵しており、切り替えバルブにより空気と排ガスを交互に蓄熱体に流すことにより、排ガスの顕熱を高温の予熱空気として回収し燃焼を行わせるものである。リジェネレーティブバーナーシステムではガス流れの切り替えが10秒から30秒のサイクルで行われており、1,300℃レベルの排ガス温度に対して空気は約1,100℃まで予熱される。一方、排ガスの温度は約250℃まで低下し、排ガス熱損失が極めて低くなっている。その結果、リジェネレーティブバーナーを用いた大型連続式スラブ加熱炉では約25%の省エネルギーが達成されたとの報告がある。また、連続焼鈍炉のラジアントチューブバーナーにおいては約29%の省エネルギーが達成されたとの報告がある。

一方、リジェネレーティブバーナーでは高温空気による燃焼となるためサーマル NO_x 発生量増大が課題とされたが、高温低酸素濃度燃焼技術により熱効率の向上と NO_x 発生量の低減を同時に実現する技術への取り組みが行なわれた。従来の燃焼概念では空気中の酸素濃度が低下すると保炎性が低下し安定燃焼が維持できない、また未燃排出物が増加すると考えられていたが、空気温度が1,000℃を超えると空気中の酸素濃度が5%以下に低下しても安定して燃焼維持できることが確認された。図3.5にプロパン火炎の予熱空気温度と NO_x 発生量の関係を示す。通常の酸素濃度燃焼では空気予熱温度が上昇すると NO_x 排出量が指数関数的に増大するが、高温低酸素濃度燃焼では増加率が小さく空気温度1,150℃において、酸素濃度15%では NO_x 濃度約750ppmに対して、酸素濃度2%では40ppmと極めて低い値となっている。このとき、COおよびUHCの排出もほとんど無視できるとの報告がある。

熱間圧延の仕上げ圧延プロセスにおいて、製品品質の向上や歩留まり向上、生産性の向上等の多くの利点を持つ連続圧延 (エンドレス圧延) を実現するため、誘導加熱によるシートバーの連続オンライン接合技術が実用化された。先行材の尾端と後材の先端との間をわずかに隙間をあけた状態で厚さ方向に交番磁界を印加すると接合端面に集中した誘導電流が流れ、この電流によるジュール発熱により端面が溶融し接合