

も機能アップとともに使いやすくなり、若い技術者でもある程度の基礎知識があれば容易に机上実験が可能になるものと思われる。高精度、高品質製品製造のための圧延条件、操業条件の最適化、ロール孔型・形状設計の効率化等にシミュレーションが手軽に利用され、日本の圧延技術が今後も世界の技術の牽引車となっていくことを期待する。

3.2.2 塑性加工におけるトライボロジー

最近10年のトライボロジー技術による革新的なブレークスルーの開発事例および環境問題に対するトライボロジー技術の進展について概説する。

(1) 冷間圧延における超高速圧延

1990年代に入ると製缶用の極薄板に対して、さらなる板厚の減少が求められるようになった。このような板厚が0.2 mm以下になるよう、圧延において生産性を向上させるためには超高速圧延が最も効率が良く、2,800 m/minの最高速度が可能な圧延が開発された。この2,800 m/minの圧延を可能にしたのは、高潤滑性圧延油の開発、耐摩耗性ワークロールの開発、ベアリング焼付き防止技術の開発などによる。従来は天然パーム油が圧延油として用いられ、供給システムとしてはダイレクト方式で採用されていた。高速化を可能とするためには圧延油を効率よく鋼板の上にプレートアウトさせることがどうしても必要であるので、ESI (Emulsion Stability Index) 値の低下と新しい領域の圧延油により圧延荷重を大きく低下させ、2,800 m/minの超高速圧延を可能とした。

次に、このような冷間圧延における超高速圧延を可能にするための重要なトライボロジー上の問題としては焼付きの発生をいかに抑えるかも検討されている。焼付き発生を防止するために、ロール表面上の炭化物間隔を抑制して、潤滑性を向上させたロールの開発が行われている。炭化物制御タイプ高クロム鋼ロールが、タンデム圧延機に適用され、圧延速度の向上に寄与している。このように、革新的ロールを開発することにより、焼付きの発生する界面温度を上昇させ、焼付き防止することにより超高速圧延が可能となろう。

(2) 塑性加工品表面の超鏡面加工

塑性加工界面のマイクロ接触状況において、材料表面凹部にトラップされた潤滑油に周辺の接触部の面圧にほぼ等しい静水圧が発生すると、中程度の速度で相対すべりをさせたとき、新たにポケットの凹部の潤滑油がその周辺の接触界面に流出して接触面全域で塑性流体潤滑作用を呈するマイクロ塑性流体潤滑が直接観察から実証された。このマイクロ塑性流体潤滑の接触状況での摩擦係数は工具と材料間に介在する油膜厚

さが同程度の他のマイクロ接触状況における摩擦係数に比べるとかなり低くなり、鏡面をもつ材料が塑性加工できる。

ステンレス鋼板の冷間圧延加工において、加工後の表面を高精度化させるような鏡面加工を行うためには、これまで界面を境界潤滑として、焼付きなどの表面欠陥が発生しない低い加工速度および圧下率で加工が行われていた。しかし、生産性を向上させ、ほどほどの鏡面加工が可能な方法を考えると、このマイクロ塑性流体潤滑が非常に有効な潤滑メカニズムとしてあげられる。

(3) 環境負荷軽減潤滑剤

塑性加工において潤滑剤の環境負荷軽減を図るために次の開発が重要である。

- (1) 地球環境に無害な潤滑剤
- (2) 洗浄を必要としない潤滑剤
- (3) 使用量の少ない潤滑
- (4) 無潤滑

上記の潤滑の開発について、最近10年の塑性加工の中の冷間鍛造加工および板成形加工について概説する。

(a) 冷間鍛造加工

従来の冷間鍛造用潤滑剤としては、りん酸塩被膜＋金属石けんが一般に用いられてきた。この潤滑処理においては、りんを含む多量の排水の廃棄物が発生する。地球環境に無害な潤滑剤の観点から、これに替わる潤滑剤が開発されている。普通鋼に対しては、反応油系や高粘度油系の油系潤滑剤およびエマルション系の水系潤滑剤並びに水系1液型乾燥皮膜が開発されている。

(b) 板成形加工

地球環境に無害な潤滑剤として、特に塩素フリーの潤滑剤の開発が必要となっている。極圧添加剤としての塩素化パラフィン「発ガン性」の問題とともに、最近ではダイオキシンの発生源として環境汚染の世界的な問題となっている。そのため、塩素系フリー加工用潤滑剤の開発が急務となっている。しかしながら難加工材の重加工において使用する潤滑剤に配合される代替添加剤の開発はなかなか難しい状況にある。現在、代替添加剤として挙げられているのは硫黄系添加剤、リン系添加剤、有機金属化合物、過塩基性スルフォネート、固体潤滑剤などであるが、そのなかでは硫黄添加剤が効果があるとして考慮されている。次に、無潤滑加工は環境対策からすると理想となろう。この場合は、新しい金型材料や表面処理技術の開発が必要となり、実験室レベルでは、セラミックス金型、DLC (Diamond Like Carbon) 膜をコーティングした金型により無潤滑加工の可能性が検討されている。

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ル、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