

4. 加工

4.1 加工分野における最近 10 年の動きと今後の課題

鉄鋼における圧延加工，成形技術は大量生産プロセス技術として高度成長時代を支え，またオイルショック以降世界的に粗鋼生産量の伸びは鈍化し，国内的にも横這いからやや下降状態に入り，現在まですでに 20 年を経た。その間にも鉄鋼材料に対するニーズは一段と厳しい高品質化，多様化さらには小ロット化の傾向を強め，圧延加工，成形技術は高生産性と高寸法精度の両機能を維持するため，新技術の開発によってそれらへの対応を図ってきた。最近 10 年の加工技術分野の動向について，板圧延，条・形・管圧延の動向，さらにこれらの加工プロセスの技術開発における圧延トライボロジー技術，および 3 次元 FEM 解技術などの進歩について，また 2 次加工技術分野の動向について概括する。最後に今後取り組むべき課題についても述べることにする。

4.1.1 板圧延技術の動向

1970 年初めに開発された冷間タンデムミルの完全連続圧延技術は，その後前後工程との連続へと急速な進展をみ，現代薄板製造プロセスの代表的な高度圧延技術に発展した。また同じく 1970 年代に開発された油圧圧下機構も圧延プロセスの連続化指向の中で圧延理論，制御モデルの進歩と総合デジタルシミュレーション技術の開発の発展によってその能力を最大限に発揮し，ロール偏芯制御などにも対応できるフィードフォワード AGC へと発展してきている。

1970 年代に出現した形状制御機能をもった新型ミル（HC ミル）が冷間圧延用実用化され，このミルの出現を契機に各種の新ミルの自主開発ラッシュを生んだ。1980 年代半ばにかけて熱延・冷延のクラウン，形状，エッジドロップ制御に関する開発が急速に進展した。ロールシフトタイプ（HC ミル，CVC ミル，K-WRS ミルなど），ロールクロスタイプ（PC ミル），バレル形状可変タイプ（VC ミル），ロール水平曲げタイプ（FFC ミル），分割 BUR タイプ（NMR ミル，NMS ミル），垂直ベンダー強化タイプ（DCB，UC ミル）などの各種新形式ミルのもつ新機能を使った制御システムが開発され，実ラインの新設および改造につながった。

特に HC ミル，PC ミルは，ホットストリップ圧延分野で，新ミル建設，ミルリフレッシュ計画などに大幅に採用され，クラウン・形状などの高精度化に貢献している。これ以後薄板製品の形状クラウン制御性は大幅に向上し，やがてスケジュールフリー技術へと発展した。また，圧延により変動を生じたロールプロファイルのオンラインの測定・研削技術（OPM・ORG）も開発され，ロール組替までの使用時間の延長が可能となった。同時に，ロール変形やロールプロファイル（撓み変形，偏平変形，サーマルクラウン，ロール摩耗など）

を解析するソフト技術もこの期間に大きく進展した。

厚板圧延においても，1970 年代に平面形状制御技術が開発されたが，その後エッジ圧下制御による方法も実用化された。またホットストリップで実用化された形状制御機構が大幅の大負荷圧延の厚板ミルに拡張されて形状制御機能をもった大圧下ミルが実現した。クラウン・形状制御の進展と同時に，熱延幅精度の向上および鑄造スラブのサイズ集約ならびに鑄造工程との効率的な接続を可能にする，幅圧下・幅制御技術の開発が進められた。V-H スタンド方式の粗圧延において，幅圧下・幅戻りモデル方式による幅圧下設定と，先後端非定常部は圧下パターン制御，中間部は入側幅実測値を用いたフィードフォワード制御および実績幅圧下量から推定した計算出側幅誤差のフィードバック制御などの自動幅制御（AWC）システムが開発され，実用された。

これらの新圧延技術によって幅精度の向上および先後端クランプロスの低減がはかられた。また油圧圧下の採用など幅制御に対しても AGC と類似の装備化の進展があった。鍛造法によるスラブ幅の圧下方法もその後開発され実用化されている。

4.1.2 条・形・管圧延技術の動向

ユニバーサル圧延の 3 次元変形の解析が進展し，ウェブおよびフランジ圧下の相互干渉を考慮にいたった板厚制御システム，冷却時の熱ひずみ解析による形状制御技術などが開発されてきた。特筆すべきことは，1989 年，建設鋼材として市場のニーズに対応する外法一定 H 形鋼の製造技術が開発されたことで，①水平ロール胴幅可変ユニバーサルミルによるウェブ縮幅法，②ウェブ付根に付与した与肉を圧下しつつスキューロールによってウェブを拡幅する二つの新圧延法があり形鋼の寸法制御技術は一段と進展した。

棒線・線材分野では，高速連続圧延下における寸法制御のためには荷重，幅広がり，および先進率などの圧延諸特性を数式モデル化する必要があり，実験と理論の両面から検討されている。スタンド間張力の検出方法は荷重とトルクを実測し両者と張力の理論的關係から間接推定する方向へと高度化してきている。

棒線の高寸法精度化に応える精密圧延を実現する方法として，①ミルハードウェアによる方法，②既設 2Hi ミルに制御システムを付加する方法がある。前者には，幅広がりの少ない 3 ロールミルによる軽圧下圧延法，2 ロール方式による軽圧下圧延法（てきすんミル）がある。後者には，張力の間接推定によるロール回転数のみのフィードバック制御方法，および各スタンドのロール回転数と圧下位置を最適レギュレー

タ理論に基づく多変数制御する方法があり、いずれも実機として稼働している。

鋼管圧延においては、高傾斜穿孔によるステンレス、ハイアロイ穿孔技術の開発、エロンゲータミルでの偏肉防止技術により肉厚矯正が行われ高精度化が進んできた。新しい圧延技術として PSW 法による圧延技術の出現、ロータリーエロンゲーターによる絞り圧延技術などが開発されている。また 3 次元 FEM 解析技術が進展し、マンドレルミルの孔形設計、SR ミルや冷間ピルカーミルの変形特性が解析できるようになった。

4.1.3 圧延トライボロジー技術の動向

耐摩耗性の優れたハイス系熱延ロールが開発され、従来よりも 4~5 倍の耐久性が得られている。またこの技術は、スリーブ方式の条用圧延ロールにも適用された。ロール表面ダル加工法として、従来からのショットブラスト法に加えて、放電加工法、さらにレーザ加工法、エレクトロンビーム加工法が開発され、薄板表面の高鮮映性を得るのにレーザ法およびエレクトロンビーム法によるダル圧延技術が開発され、注目されている。潤滑技術の分野では、ホットストリップミルの粗、仕上それぞれに適した熱間圧延潤滑の開発が行われた。冷延タンデムミルでのステンレス鋼板の圧延と関連して高速で焼付きのない新しい潤滑技術、また光沢を得るためトライボ機構の解明の進展をみた。

4.1.4 3次元 FEM 解析の進歩

近年の有限要素法の発達および各種連成解析手法の進展により、従来の圧延理論では解析できなかった複雑な 3 次元変形形状や材料内部の変形形態を、メタラジーや温度の影響も含めたより実際に近い状態で把握できるようになり、差し迫った圧延プロセスの再構築を支援する新理論解析時代を迎えたといえよう。

このような圧延理論解析のいっそうの高度化をめざした解析基盤技術を体系的に充実していくため、圧延理論部会内に理論解析研究小委員会が設置されて活動を開始しており、その成果が期待されている。

4.1.5 二次加工技術の動向

(1) 板成形加工

板プレス成形加工技術分野の FMS 化時代を迎えて、プレス金型設計の CAD/CAM 技術、金型の自動交換技術が着実に進展した。自動車の車体部品のプレス加工工程の CAD/CAM 化が行われてきていると同時に、加工部品精度の向上の努力がなされている。また FEM 解析に代表される成形シ

ミュレーション技術の著しい進展があった。このようなシミュレーションがようやく実用化をめざした信頼できる精度にまでなりつつある。樹脂複合鋼板など複合材料の成形技術も進歩してきたが、薄鋼板に代わる新材料の採用が目立ってきている。家電製品の本体に大幅なプラスチック化が進み、また自動車の複雑形状をもった各部品にも同様の傾向がみられる。また大型パネル部品などを一体で成形できる大型射出成形機が出現している。

(2) ロール成形

電縫鋼管のロール成形分野では、大径化、厚肉化、薄肉化、さらに高級化など多様化の傾向が一段と進展した。厚肉化では t/D が従来約 20% であったものが、26% までの極厚肉化が可能となり、また薄肉化ではステンレス・管成形において t/D 1.8%、さらにステンレス・チタンの極薄肉管 $t/D \leq 1.0\%$ が可能となってきた。これらの多様化対応の新技術としてフレキシブルに成形できる各種の方法が開発されている。また 3 ロール型の外径絞りフリーの新レデューサーやプラネタリレデューサー方式などが出現している。ロールフラワー設計に関して、CAD/CAM システムが着実に発展して実用化されるようになった。

4.1.6 今後の課題

鉄鋼業をとりまく環境変化への対応を求められることから圧延、成形、加工分野の技術進歩に対する期待は大きいものがあり、この分野の技術競争力を高めていくための基本技術課題として次のようなことが挙げられる。

- (1) 技術競争力をそなえた FMS の推進と製品高寸法精度制御技術の開発
- (2) 圧延、加工、成形のネックとなるプロセストライボロジー技術の一段の進歩
- (3) FEM に代表される高度科学技術計算利用による加工プロセス解析技術とシミュレーション技術の進歩およびその利用
- (4) 多様なニーズに対応する高品質製品の造り分け、高付加価値化技術の進歩と多様な材料の利用加工技術の一段の進歩
- (5) 鉄鋼製造プロセスのリプレース、リフレッシュ時代を迎えつつあり、これに対応すべき新プロセス、新技術の開発

などが将来の発展に向けて取り組むべき課題と考えられる。特に鉄鋼製品の製造の考え方が、従来の巨大システムによる大量生産方式に対してフレキシブルでコンパクトなプロセス化への傾向が台頭しつつあり、この点にも注目しつつ対応していくことが重要と考えられる。