



図3.15 棒線圧延の3次元FEM解析による圧延圧力分布
(浅川、柳本)

と成分調整により冷間鍛造時のダイス寿命長期化のために開発された非調質ボルト用線材などがある。

(4) 有限要素法などによる棒線圧延解析と材料組織予測

棒線の圧延技術の一つのポイントである孔型設計やパススケジュールの最適化には、正確な圧延変形解析が必要である。棒線圧延の3次元変形解析は1980年代後半に初めて公表されたが、実用的な観点から解析したり、圧延技術者が業務の中で活用されるようになったのはつい最近のことである。図3.15に示すような利用しやすい棒線圧延用3次元有限要素法ソフトの開発、圧延中の温度解析、圧延材の材料組織予測、線材圧延中の表面きずの成長・消滅解析や線材スケールの剥離と変形挙動解析などの研究がなされた。

以上のほか環境問題への対応も重要である。鉛をはじめ有害物質の低減、省エネルギープロセスやエコプロダクト製造への技術展開、効率のよい物流管理などを今後さらに推進しなければならない。

3.5 鋼管製造技術の進歩

鋼管の製造技術は、変遷するユーザーからのニーズ、製造側からのニーズに対応することにより大きく進歩してきた。前の10年に比べ、この10年は、特にユーザーからの新製品ニーズにより、それに対応するための製造技術が開発、設備化されてきたと言える。製造側からのニーズ（高生産性、コストダウン、信頼性向上など）に対応した技術開発は、ここ10年ではほぼ一段落しており、今後、ますますユーザーニーズに対応した技術開発の動向が続くものと考えられる。

3.5.1 継目無鋼管の製造技術

継目無鋼管製造者にとって、この10年は慢性赤字体質からの脱却闘争の時代であったといえる。安価な労働コストを武器にした海外のミルとのコスト競争を繰り広げると共に、外国会社との統合、2社間の生産移譲など大きな変革の年であった。

この間、継ぎ目無し鋼管の主要な市場である石油、天然ガ

スの開発は、年々深井戸化の方向に進み、かつ開発地域も陸上から海底に広がってきた。また、環境面から高温でかつCO₂、H₂Sなどを含む過酷な条件の油井開発が進んできた。このため、耐食性の高い鋼材への要求が高くなり、13Crに代表される高合金鋼管の製造技術開発がホットなテーマとなった。

(1) 穿孔

この分野では、大きな2つの技術が定着化した。一つは、交叉穿孔機（コンタイプ）の穿孔技術であり、二つめは拡張管穿孔技術である。また、高合金穿孔用のプラグの開発も大幅に進んだ。

石油、天然ガス掘削の市場ニーズから、鋼管の材料が高合金化に進む中、13Crを中心とした高合金の製造技術が求められた。これに対応するため、旧来のマンネスマン方式では潤滑、シュー様式等が開発の対象となり、潤滑分野ではほう酸系の潤滑剤が、シューとしてはドライローラーシューが開発された。また、新規に設備化される工場では、穿孔時に発生する付加的な剪断歪みを抑え、高合金穿孔に有利な高交叉角穿孔機が主流となった。他方、13Crの穿孔に使用されるプラグの寿命が短く、数本の穿孔にしか持たず大きな課題となった。この解決方法として、高温強度を上げたプラグや酸化スケール層の厚いプラグなどが開発された。今後とも、TZM (Ti-Zn合金モリブデン) を含む超長寿命プラグの開発が続くものと考えられる。

拡張管穿孔については古くより研究されてきたが、マンネスマン穿孔では管端の尻抜け不良、フレアーが大きな問題となり、1.2～1.3の拡張率（穿孔外径／鋼片外径）しか実現できていなかった。これに対し、交叉穿孔では1.4～2.0の大きな拡張率と薄肉の穿孔材（従来 t/D が7%が3%まで）の得られることが判明し、次工程のマンドレルミルへの負担を減らす事が可能であることが実証され、注目される技術となった。これにより、マンドレル圧延を従来の7スタンドから5スタンドに減少でき、設備費の削減と共にマンドレル操業の大幅な簡易化を実現できた。

(2) マンドレル圧延

マンドレル圧延では、リトラクトマンドレル技術が定着し、16インチを超える大径材までの圧延が可能となった。このことから、大径材の圧延に用いられていたプラグミルは、表面性状、肉厚精度の高いマンドレルミルに取って代われ、新規にプラグミルが建設されることは無くなった。また、穿孔機の圧延負荷を大きくできるようになったことから、省スタンドマンドレルミルが可能となり、5,4スタンドのマンドレル圧延機も建設され、設備費の大幅な低減を可能とした。さ

らに、これまでX配置のスタンドをVH配置とし、設備コストを低減させる工夫もなされてきた。今後、マンドレルミルとサイザー、ストレッチレデューサーの直結化もミルのコンパクト化の観点から注目されるものと考えられる。

製品の形状精度を向上させる技術として、引き続き計算機制御の高精度化が計られると共に、3ロール圧延機による高精度圧延機も出現した。さらに、4ロール圧延機の提案もなされているが、まだ、実現していない。また、次工程のストレッチレデューサー圧延に於ける前後端のクロップロス低減のため、マンドレルミルで管端を薄肉に圧延する方式が開発され、これを実現するための油圧圧下ミルの導入、計算機制御の技術開発が行われ、大きな効果をあげている。

リトラクトマンドレル圧延を可能にした技術にマンドレルバーの潤滑技術がある。黒鉛系の潤滑剤が用いられているが、高合金圧延にはほう酸系の潤滑剤を用いているところもある。

(3) ストレッチレデューサー圧延

ストレッチレデューサー圧延においては、古くからの2つの大きな課題がある。一つは、長手方向の管端部肉厚分布解消、二つめは大きな外径圧下時に発生する内面角張の解消である。管端肉厚制御の技術開発は、マンドレル圧延における管端薄肉化と速度制御によりほぼ一段落した。内面角張については、ロール形状、張力等の影響が明らかにされ、15度配置のミルが実機化され、4ロールレデューサーの提案などがなされているが、製品寸法との関連でミル形式が選択されるものと考えられる。

(4) 今後の方向

今後の圧延プロセスの動向は、高合金管の製造、設備コストの低減、肉厚・外径精度の向上、省エネルギーなどを極限にまで求めた技術開発が主流となるであろう。特に、省エネルギーについては、CO₂削減の要求からダイレクトクエンチ併用ラインなどが検討されるものと考えられる。また、今後のエネルギー源として、メタンハイドレートが挙げられているが、この採掘技術、採掘のための鋼管、運搬のための鋼管開発も今後の目標となる。

3.5.2 溶接鋼管の製造技術

(1) 電縫管

電縫管のここ10年の製造技術は、古くからのニーズ、(1) 製造範囲の拡大、(2) 溶接信頼性(入熱制御、ガスシールド溶接)、(3) 生産性向上とコストダウン(クイックチェンジ、ロールの共有化、FFミル)、(4) 合金鋼の製造(ガスシールド溶接、レーザー溶接、)の延長線上での開発、設備化によ

り発展してきた。また、近年はこれらに加えて(5) 鋼管の加工性の向上、高強度化、高YR鋼管への要求が高まってきており、これらに対応した技術開発、設備開発が進んできた。

製造範囲の拡大は、強度との関連はあるが、構造物としてさらなる厚肉化が望まれ、厚肉製造のための技術開発がなされてきた。最近(2003年)、ラインパイプへの適用を意図し、高強度、高変形能鋼管を製造できる24インチ外径の電縫ミルが設置され、厚肉化を狙い26インチミルの改造も実施された。しかし、全般的に、製造範囲の拡大に対する新技術開発は、ここ10年間では見られない。

溶接信頼性技術は、前の10年に開発された入接制御システムの高精度化を中心としたものであり、この10年、目を見張る開発は見られない。また、ガスシールド技術についても、設備のコンパクト化などが計られたが、大きな発展はみられていない。

生産性の向上とコストダウンについては、(5) 項の要求とも相まって、FFミル(フレキシブルフォーミングミル)が開発され、小径のみでなく中径ミルにおいても採用され、その効果上げてきた。このミルは、ブレイクダウン、クラスターロールのロール形状にインポリュート曲線を用い、その位置、傾きをかえることにより、ロールと素材との接触点を順次最適な位置に数値制御し、滑らかな成形を実現したものである。これにより、ロール交換、調整の時間が大幅に短縮され、長年、電縫管成形に携わってきた技術者の夢である、ロール共有を実現させた。また、ロール位置、傾きが油圧を利用し数値制御されるため、成形の安定性も大幅に向上した。ただ、厚肉材の成形に対しては不向きなところのあることが指摘されている。(5) 項に関連し、FFミルにおいて成形時の付加的な歪みの導入が少なく抑えられるため、他の成形方法と比べ低歪み造管が実現でき、製品の残留伸びも確保され、低YR製品を実現する事が可能となった。

また、合金鋼、厚肉管の製造を狙い、レーザー溶接と電縫溶接を併用した技術が開発、設備化された。従来、レーザー溶接管としてステンレス鋼管の製造がなされてきたが、成形速度が速い電縫管成形ラインに組み込まれたのは初めてであった。この技術は、高出力のレーザー発生装置が開発されたことにより実現したが、製造技術の面からは成形の安定化、シーム部の追従技術が開発のポイントとなった。

ここ10年における製品の用途から来るニーズとして、チューブハイドロフォーミングを利用したチューブの自動車部材への応用が注目されている。この加工は、加工の組み合わせが複雑で、加工度が高いため、鋼管に対する加工性の向上が望まれるようになった。しかし、これまで鋼管の加工性を評価する指標は曖昧であり、簡便な加工性評価技術の開発が