

としているため、熱間圧延H形鋼のJIS規格にないウェブ高さ700 mm以上のサイズでフランジ幅350 mm、400 mmシリーズが商品化された。この場合、製品断面係数が非常に大きくなり、従来の片持ち矯正機では製品の曲がりや反りを矯正できないため、新たに両持ちの矯正機が開発され実用化されている。

H形鋼ミルはBD－UR／E／UFのミル配列が主流となり、素材は連続鋳造のビームブランクが一般的となった。この場合、H形鋼専用ミルであれば問題はないが、鋼矢板や溝形鋼等の一般形鋼をこのミルで製造しようとするとう問題が発生する。一般形鋼の場合、素材はスラブやブルームであり、製品まで造形するのに多くのロール孔型が必要となる。上述のBD－UR／E／UFラインでは前述した鋼矢板の例のように6孔型しかこのラインで持てない。そのため圧延中のパス間でEロールをシフトし、Eロールに刻設された複数の孔型を使用できる圧延設備が開発された。図3.11に示すように2001年よりスペインで実用化されている。ここでは、UR、UF圧延機が2重式の圧延機DR、DFに交換され、DR／E／

DFの3台の圧延機が同時にシフトし3パスで山形鋼が圧延されている。

形鋼の圧延設備の開発については、ユニバーサルミルの新しいタイプでは油圧圧下方式が採用され、圧延機は非常にコンパクトになった。また、ロール交換時ハウジングが分割できる設備も開発されロール交換時間が短縮された。

一方、阪神大震災を契機として建築用鋼材の高性能化ニーズに応える形鋼のプロセスメタラジー技術も開発されてきた。これは厚板分野で発展した金属組織の微細化法である制御圧延技術（TMCP法）をベースとし、Nb、V等の微量添加や微細Ti酸化物の分散によるオキサイドメタラジー技術である。これらの技術がH形鋼の製造に適用された例としては低降伏比外法一定H形鋼や耐火用H形鋼がある。また、建築用の極厚H形鋼に対しては、VNによってフェライト核生成を促進し組織の微細化を行う新しいTMCP法によりSN490CTMCおよびSM520TMCを満足する極厚H612×500×50×80 mmが商品化された。さらに、強力な水冷技術を適用することにより建築用550N／mm²級のH形鋼も開発されSRC造の柱部材に適用されつつある。

以上、最近10年の大形形鋼を中心とする形鋼の圧延技術・圧延設備の進歩について簡単に述べた。

3.4.2 棒鋼・線材圧延

圧延された棒鋼・線材製品がそのまま最終製品として使用されることは少ない。圧延材は熱間鍛造の素材や熱処理後伸線加工、冷間鍛造などの2・3次加工のための素材となる。現在国内の棒鋼および線材年間生産量は、それぞれ約1,000万トン、約700万トンである。図3.12に鋼線材の品種ごとの生産推移を示す。最近、自動車および機械部品の高級化、高品質化の要求が高く、特殊鋼線材の生産量は年々増加傾向であり、現在全鋼線材の生産量比で56％と高くなっている。

1960年代は高度成長期であり、大量生産を達成するための技術が開発された。1970年代はオイルショックも迎えたが1980年には約800万トンの線材を生産した。しかし、その後NIES等の追い上げ、価格競争の激化に直面し棒鋼・線材の生産量はやや減少と横ばいを繰り返し現在に至っている。その過程の中で市場の多様なニーズに対応するため少量多品種生産の技術も検討された。最近10年は、国内外メーカーとの価格面でのさらなる競争力を確保するための省人化を含めた高生産性技術と海外製品との差別化技術および超品質化・高機能付与技術が積極的に検討された。有益な技術改善、新技術・新プロセスの開発などの成果が得られ、世界トップレベルの品質とその製造技術を確立した。

この10年間の技術進歩のトレンドとして、圧延速度の高速化、高寸法精度と高品質化、フリーサイズ圧延、制御圧

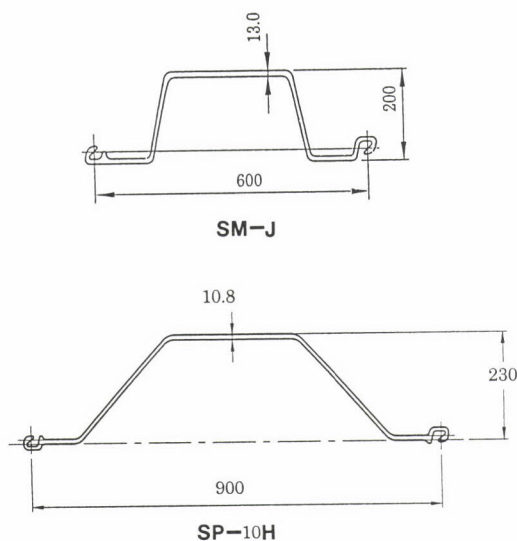


図3.10 ハット型鋼矢板

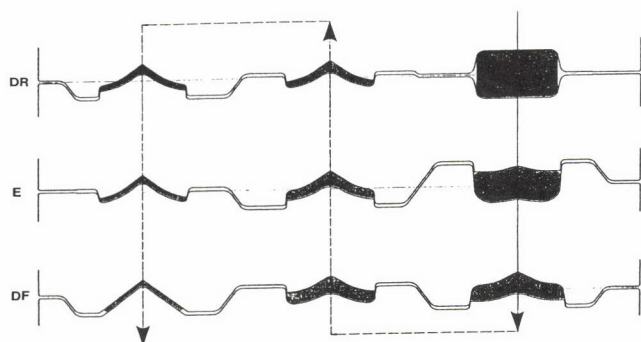


図3.11 DR／E／DF・タンデムスタンドのパス間シフトによる山形鋼の圧延

延・制御冷却による新機能創生技術、有限要素法などの解析を利用とした圧延中の3次元変形解析と材料組織予測などの項目があげられる。

(1) 圧延機の高速度化と生産性

圧延速度は生産性と製品価格に直接影響する。図3.13には線材仕上げ圧延機の高速度化の推移(モルガン社)を示す。1960年代にノーツイストミルと空冷装置ステルモアが開発され圧延最高速度は20→40→60 m/sへ増加した。その後さらに改良され、1980年代には60～80 m/s、現在では最大100～120 m/sに加速され線材製造の高生産性が達成された。ビレットを溶接し連続的に圧延するエンドレス圧延の研究もされた。

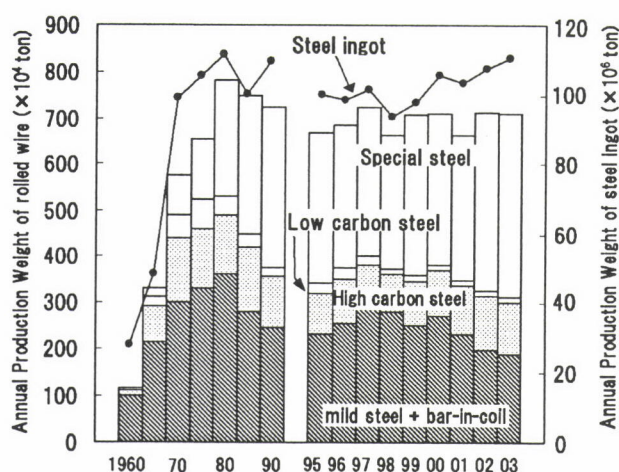


図3.12 粗鋼および鋼線材の品種別生産量推移(経産省統計)

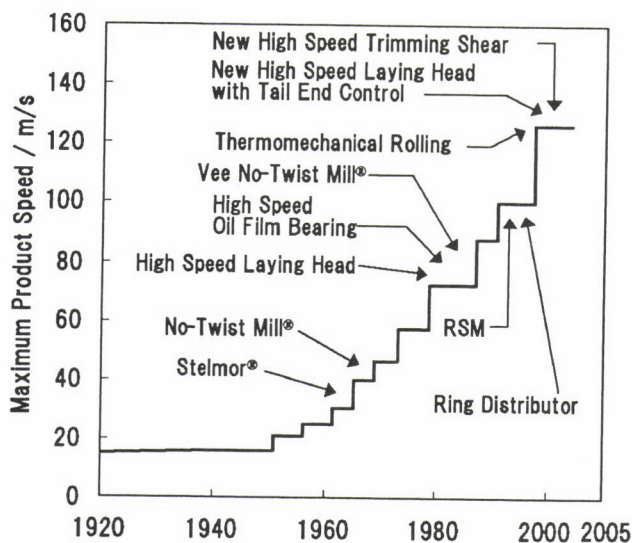


図3.13 圧延仕上げ最高速度の歴史(Morgan社)

(2) 高寸法精度製品の製造とフリーサイズ圧延

圧延製品の後加工の簡略化や自動加工機械の導入のため、要求される寸法精度、真円度、表面性状は年々厳しくなっている。図3.14は、圧延された棒鋼・線材の直径とその公差の関係を示す。直径の大小、後加工の方法や製品用途によってもその公差の大小は異なっており、最近±0.1 mm以内の公差を要求する精密圧延材もある。素材の寸法・温度変化、ロール回転数、ロール間隔設定誤差により、スタンド間張力、出側寸法変動を誘発し、それらが外乱として圧延列下流に伝達されていくことにより仕上げ圧延スタンド出側で寸法変動が生じる。現在高速でかつ精密な寸法と欠陥計測も可能となり、また自動寸法制御や多変数制御システムも開発され超高速で高寸法精度の棒鋼・線材が製造できるようになった。材料の品質、疲労強度や破壊に影響する表面きずと脱炭の問題は、完全に解決されたとはいえないが大幅に改善されてきている。

特に棒鋼の仕上圧延における最近の圧延機は、従来の2ロール法に比べて幅広がり抑制され、高寸法精度製品が得られる3方ロール法が主流である。その他4方ロールも開発され一部に使用されている。また寸法の多様化要求に応えるため、フリーサイズ圧延技術も開発された。

(3) 制御圧延・制御冷却による新機能創生技術

圧延・冷却工程内で熱処理を行うことにより、棒線材の強靱化を図ったり、逆に軟化をさせたり、金属組織を微細化させる技術が開発されている。軟化材の製造目的は、2、3次加工工程における生産性向上やプロセス省略の目的で行われ、加工コスト低減や高品質化に貢献している。例としては高C鋼の伸線加工技術と成分調整により、4,000 MPaの高強度化を達成させたタイヤ用スチールコードや低温圧延、徐冷

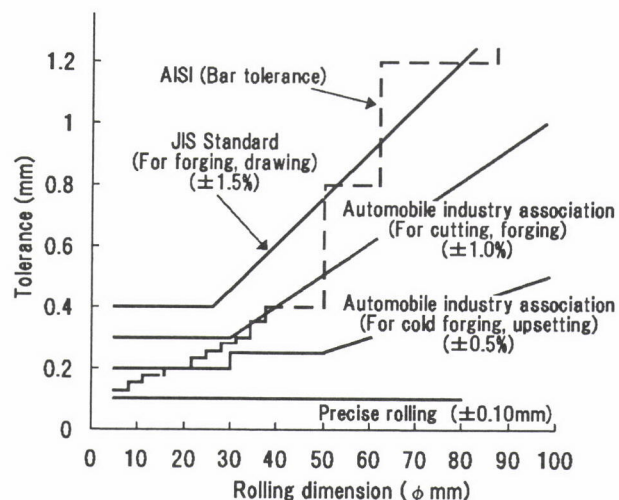


図3.14 各規格による圧延された棒鋼・線材の寸法公差(海老原)

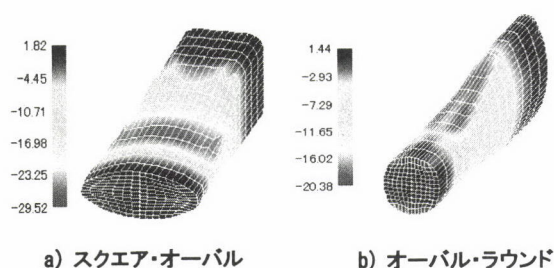


図3.15 棒線圧延の3次元FEM解析による圧延圧力分布
(浅川、柳本)

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