

焼結材どうしだけでなく、焼結部品と鋼材との焼結接合も可能である。従来鋳鉄で作られているカムシャフトを、図 4.2.6 に示すような鋼製パイプと焼結カムピースの焼結接合で作ったものが実用化された。両者を嵌合させた後、カムピース材料から出る Fe-C-P 共晶の液相を利用して鋼管に接合する方法が取られている。従来は鋳造カムシャフトと比較して 26% (0.9 kg) 軽量化し、摩耗量は 1/7 に改善された。中空鋼管の中にエンジンオイルをとおして供給できるメリットもあるということである。

4.3 塑性加工

4.3.1 展望

この 10 年間の塑性加工技術の発展をふりかえると、生産性、品質および歩留りの向上、省力、省エネルギー、高級品質化を目標としているのは従来と変わらないが鉄鋼生産量の伸び悩み、中・後進国の追い上げなどの危機感から、その目標への積極的な挑戦がなされ、飛躍的な技術進展がなされた。1975 年までの 10 年間は加工技術のポテンシャル蓄積の時代であり、その後の 10 年間はそれが実りつつある時代と言える。上記目標を達成するためには基礎技術、機械および電気を含めたハード技術、計測技術、システム技術などの各技術の発展とそれらを取り扱う人間の質的向上がうまく整合する必要がある。日本ではその整合性がよくとれており、その結果日本の塑性加工技術は世界の最高水準に達し、日本独自の技術が世界に輸出されるようになった。この傾向は今後ますます進むものと思われる。各分野の詳細は各章に譲るとして、以下にトピックス的な技術を中心に各加工分野を展望する。

(1) 板圧延

連铸の普及とあいまって各工程の連続化、徹底した歩留向上技術が指向されている。

熱延では連铸—熱延連続化の動きが盛んで、それに伴い圧延での幅集約の各種技術が検討され、実用化されつつある。連続化技術に必要な熱延仕上げミルのスケジュール緩和技術も一部実現されている。そして歩留向上の観点からクラウン、平坦度制御のための仕上げミルへの新型圧延機の採用、板幅精度向上のための粗圧延機の自動板幅制御の普及、板厚精度向上のための仕上げミルの油圧化、ルーパ改造などが着実に実施されている。

冷延においては、酸洗とタンデム、または更に連続焼鈍炉との連続化も実現した。そして新型圧延機の導入も活発で、形状制御の普及、高圧下圧延技術へと進展している。また計算機の発達に伴い制御のデジタル化が進め

られ精度向上に貢献している。古くて新しい問題である潤滑も基礎研究および操業管理技術において着実に発展している。

厚板圧延においては新しい平面形状制御技術が活発に開催されるとともに油圧 AGC (自動寸法制御) の採用、計算機の高度化およびスラブ品質の向上などにより飛躍的に歩留りが向上した。工程の省略、製品の高級化要求に対し制御圧延、制御技術が確立された。

(2) 線、棒、形鋼、鋼管の圧延

主な技術の発展は計算機による自動化の普及、高速化、寸法精度の向上であろう。線棒の径変動を少なくするため連続圧延での無張力制御が開発された。そして孔型設計の CAD システムが普及しつつある。グループプレス圧延も実用化された。

形鋼圧延では基礎理論と実験に基づき H 形鋼、鋼矢板の連続圧延が進み、計算機制御の導入により品質、生産性が大きく向上した。連铸スラブから堅形圧延で生じるドッグボーンを利用した H 形鋼の製造などの新しい技術も開発された。

板圧延に比べて計算機制御が遅れていた鋼管圧延においても計測技術と圧延理論の発達により自動化が可能になった。新しい技術として連铸角ブルームを用いたプレスロールによる穿孔技術の企業化、ストレッチレデュースの先後端肉厚制御などがあげられる。

(3) 2 次加工技術

各種溶接鋼管の製造技術においては厚肉、薄肉および大径限界への挑戦、拡大がなされ、また VRF (垂直ロール成形方式) などの新しい製管技術も実現された。品種的には前半の高強度化指向に加えて、後半の高靱性、高耐食性指向へと多様化した。

板材成形分野においては自動車に対するユーザーニーズの変化に伴って以前の成形限界主体の研究からしわ、スプリングバック、デントレジスタンス性、型かじり、面ひずみ等に関する研究へと広がった。

鋼線の線引分野では熱延後の制御冷却、振動酸洗、メカニカルデスクーリング、伸線中の冷却技術等の生産性、加工性、品質向上の技術が開発、企業化された。

(4) 将来の展望

上記以外の各種塑性加工分野においても、この 10 年間は実り多い時代であったと言える。今後の中進国の追い上げ、ユーザーニーズの多様化、高級化傾向は変わらず、塑性加工技術に対する要求は、品質、精度、コストの面からますます厳しくなっていくことは確かである。その目的達成のためには各塑性加工領域での精力的開発研究、基礎的研究とともに、製鋼、材料、計測、計算機等の関連技術分野との強い連携がますます要求される。

4.3.2 分塊圧延技術

この 10 年間急速な連铸比率の増大に伴い、図 4.3.1 に示すように生産量、稼働率ともに大きく低下した。特に板分塊は大きな影響を受け、昭和 50 年の 21 工場から 59 年には 10 工場と半数以下に、生産量も 1/7 となった。このため設備と要員をいかに有効に活用するかが課題となり、各事業所においてさまざまな試みがなされている。主なものを以下に挙げると、均熱炉：連铸スラブやブルームの加熱，熱処理，ミル：連铸スラブのサイジングやロールスリット法による半裁，極厚鋼板のザク疵圧着，精整：連铸スラブの手入れ，半裁などである。

(1) 加熱技術

分塊工場のコストに占める比率の高い燃料原単位の低減技術が種々開発され大きな効果を上げた(図 4.3.2)。特にリムド鋼塊の加熱法は格段の進歩を遂げ無加熱圧延

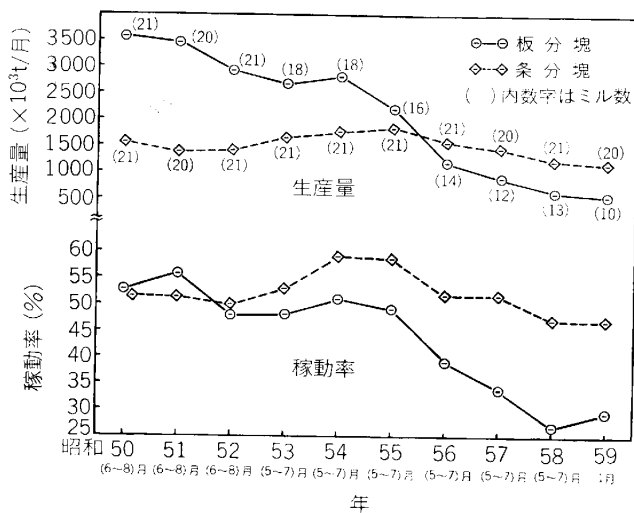


図 4.3.1 生産量と稼働率の推移 (分塊分科会資料より)

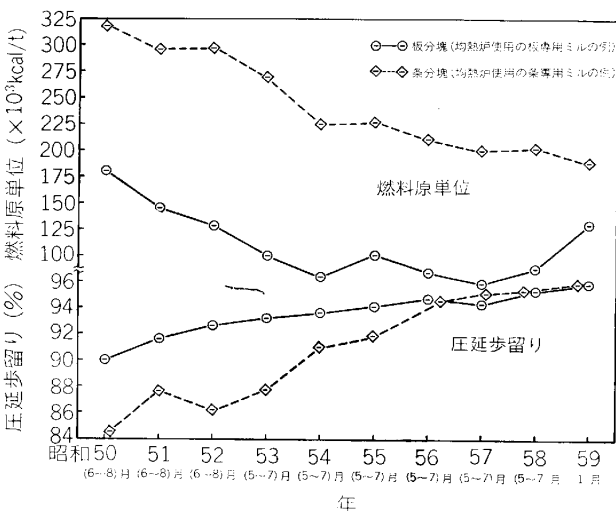


図 4.3.2 燃料原単位と圧延歩留りの推移の一例 (分塊分科会資料より)

が実現した。これは最短のトラックタイムで完全密閉の断熱炉に装入し、鋼塊内高温部の顕熱および未凝固部の潜熱により表面側の昇熱を待ち、品質上問題ない程度まで温度が均一化した時点で抽出し圧延するものである。

その他の燃料原単位低減対策として連続式加熱炉の採用、炉体内面へのセラミックファイバーの内張り、コンピュータの活用による最適燃焼制御などがある。最近の板分塊での原単位悪化傾向は、連铸優先操業などの影響である。

(2) 圧延技術

圧延歩留りはこの 10 年間で著しい向上をみたが(図 4.3.2 参照)、最近大きな効果を上げたのはパススケジュールの改善によるクロップロスの減少である。その原理は①噛み込み端は噛み抜け端に比べオーバーラップやフィッシュテールが小さい、②重圧下や変形抵抗比(内部/外部)を小さくすることにより内部への圧下浸透を高めるとオーバーラップやフィッシュテールが小さくなることである。①を応用したのが噛みもどし圧延(両片パス圧延)であり、図 4.3.3 に示すとおり噛み抜け端を凹み形状にあらかじめ成形しておき、フィッシュテールを形成するメタルフローを凹み部で吸収するものである。②の重圧下の場合、図 4.3.4 のように材料の端部に未圧延部を残しておき、適当なパスの時一気に抜き去る方法がある。変形抵抗比の利用については、リムド鋼の未凝固圧延で実現される。

極厚鋼板はこれまで内質上の問題から鍛造工程を通るため製造コストが高かった。そこで鍛造工程を省略して分塊ミルでザク疵を消滅させる圧延方法が検討され、次

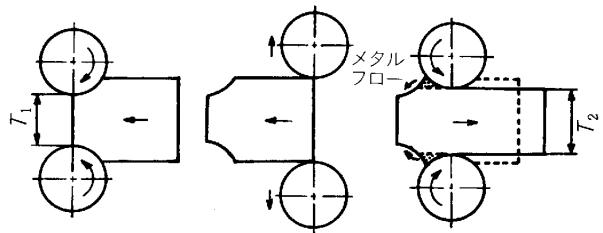


図 4.3.3 噛みもどし圧延法 (松崎ら：鉄と鋼，67 (1981)，p. 2353)

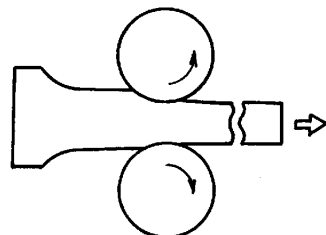


図 4.3.4 強圧下引抜圧延 (松崎ら：鉄と鋼，67 (1981)，p. 2353)

の条件が有効であることが判明した。①圧延形状比（ロール接触弧長/平均厚み）や圧下比を大きくする。②変形抵抗比や圧延スピード（歪み速度）を小さくする。

(3) 精整技術

制御機器や計測技術の進歩により、鋼片の自動検査や手入れの機械化が進められているが、まだ不十分で精整工程は生産性向上の障害になつている。この工程のコストを下げることで下工程の省エネルギーを図るため、製鋼・分塊において種々の改善の結果、無欠陥鋼片製造技術が確立され HCR（熱片装入圧延）や HDR（熱片直送圧延）が実現した。これらの実施に当たって品質保証の観点から熱間探傷技術の開発が強く要請され、分塊スラブの表面疵については、①鋼片表面を拡大静止画像として TV モニターに写し出す方法、②赤外線やレーザーにてスキャニングさせ、その反射光をキャッチする方法、③電磁誘導による渦電流の変化を利用する方法など各種の方式が考案された。これらの技術は現在では、連続スラブの HCR や HDR に応用されている。ビレットについては冷間探傷技術が格段の進歩を遂げた。これまでは磁気探傷が主流を占めていたが、最近では、渦流探傷や表皮直下の疵も含む全断面を探傷できる超音波法も開発されている。さらに探傷と疵手入れを全自動化する試みもなされており今後ますます発展するものと思われる。

4.3.3 帯鋼圧延技術

(1) 熱延

(a) 緒言

ホットストリップ（以下、熱延と称す）の技術の進歩を展望すると、1973年の石油危機までは急速な経済成長に支えられ、ミルの新設や大型化・高速化が実現され量産指向の生産技術が発展した。

オイルショック以降は鉄鋼需要の伸び悩み・原燃料の高騰並びに後進国の台頭に対応すべく、省エネルギー・省資源・省力化や高級製品指向へと転換し、関連する技術が大いに発展した。その技術動向の特長を以下に総括する。

第1に、燃料価格の高騰から、加熱炉の省エネルギーや分塊・連続からの高温スラブの顕熱を有効利用する熱片装入（Hot Charge Rolling, HCR）や直送圧延（Hot Direct Rolling, HDR）等の新しい省エネルギー技術、プロセス連続技術が著しい進歩をとげた。

第2に、省エネルギーについて、歩留向上が重点とされ、設備・操業の両面からロス低減、とりわけスケールロス低減が精力的に追求された。

第3に、需要家や次工程の歩留向上の観点から、高

品質が要求され、板厚・板幅・クラウンに関する高精度圧延技術が開発された。特に、自動板幅制御や形状クラウン制御ミルは、従来技術と発想を異にした日本独自の技術が開花したもので特筆に値する。

第4に、製品の多様化・高級化に対応した製造技術があげられ、高張力鋼を中心とした制御圧延や制御冷却の加工熱処理技術が進歩した。またこの技術で省熱処理プロセスや省合金も指向された。他方、製鋼における取鍋精錬技術の進歩により、加工性に優れた高純度鋼の素材も圧延されている。

最後に、計算機やマイクロエレクトロニクス（ME）の進歩に伴い、自動化や無人化がいつそう推進され、労働生産性が高められた。

これらの熱延技術の進歩は、動力原単位・歩留りを飛躍的に向上させるとともに、国際競争力の維持に大きく貢献していると考えられる。

以下に最近の熱延技術の動向と将来展望を概説する。

(b) 省エネルギー技術の進歩

(i) 燃料エネルギーの節減

熱延で消費する燃料エネルギーは全消費エネルギーの大半を占め、製造費の中での燃料費の比率は極めて大きい。したがって、オイルショックによる燃料の価格上昇・供給不安は熱延に深刻な衝撃を与え、燃料原単位の改善が最大の課題とされ、懸命なる努力が今日まで続いている。また近年、省エネルギー効果の大きい HCR・

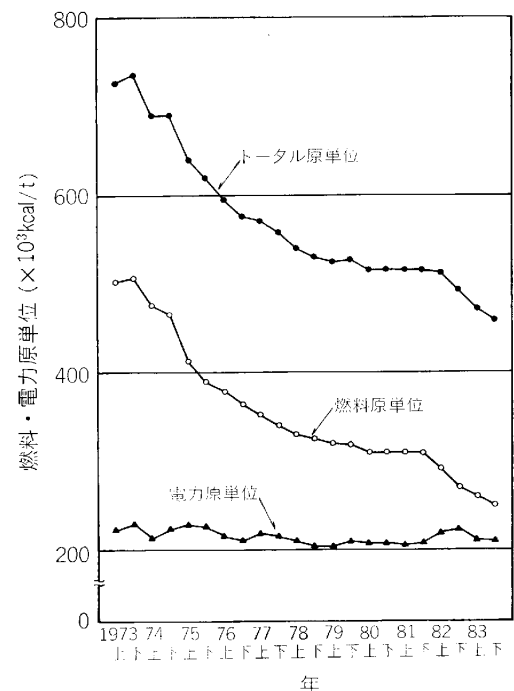


図 4.3.5 エネルギー原単位（全国平均）の推移
（日本鉄鋼協会共同研究会：第 19～40 回鋼板部会
ホットストリップ分科会資料より作製）

HDR が開始され、その拡大に努力が払われた。その結果、図 4.3.5 に示すごとく、石油危機時、全国平均で約 500×10^3 kcal/t であった燃料原単位が、現在では約 250×10^3 kcal/t と驚異的に改善された。

燃料エネルギーの節減対策の基本的考え方は、加熱炉での熱効率を高めること、高温スラブを装入すること、抽出温度 (= 圧延開始温度) を低くできること、むだやロスのない最適操炉が可能なことである。

(イ) 加熱炉の効率化

加熱炉の省エネルギー対策としては、排ガス損失熱の低減、炉体損失熱の低減、排熱回収の徹底や最適操業がある。排ガス損失熱の低減策として、まずヒートパターンの適正化があげられる。石油危機直後から、低操業度への移行に伴い、加熱炉負荷を低くし熱効率よい操炉法がいち早く適用され、燃料原単位は 20% 前後の急激な改善がなされた。この炉床負荷を低くし熱効率をあげる考え方は、その後の加熱炉新設にも反映され、加熱条件に応じて適正な炉長が選定された。一方、操業面では、最近計算機制御が導入され、素材や圧延条件により、加熱炉各帯温度、燃料配分、抽出温度を設定・制御し、最適なヒートパターンを維持させ、最も効率的な操炉が実施されている。その他、排ガス O_2 制御による低空気比燃焼やバーナ性能改善も実施されている。

スキッド冷却水や炉体放散熱による熱損失防止策としてはスキッドの 2 重断熱や炉壁内・外面の断熱強化が実施された。断熱材としては、施工技術の進歩で、断熱性の優れたセラミックファイバが適用でき、省エネルギー効果を著しく向上させた。

損失熱の最も大きい排ガスの熱回収強化としては、高効率レキュペレータ、ガス予熱レキュペレータ、煙道排熱ボイラが採用された。

以上のごとく、設備・操業両面にわたる意欲的な改善の結果、熱効率は従来の約 50% から 70% 前後にも達した。

(ロ) ホットチャージと直送圧延

HCR・HDR は図 4.3.6 のごとく、前工程からのスラブの顕熱を利用するので、熱延では軽加熱または省加熱ができ、最大の省エネルギー効果をもたらす手段であり、その適用拡大に最も精力が注がれている。本技術は基本的には独立して相異なる製鋼 (連铸) と熱延プロセスの連続化であり、その実施にあたっては、両プロセス間の温度整合、能力、製造パターンの整合や品質保証、一貫工程管理並びにレイアウトの最適化等に係わる連続化技術を総合的に開発・発展させる必要がある。

(ロ)-1 分塊-HDR

分塊圧延後の鋼片を直接熱延ミルに送る方式で、石油

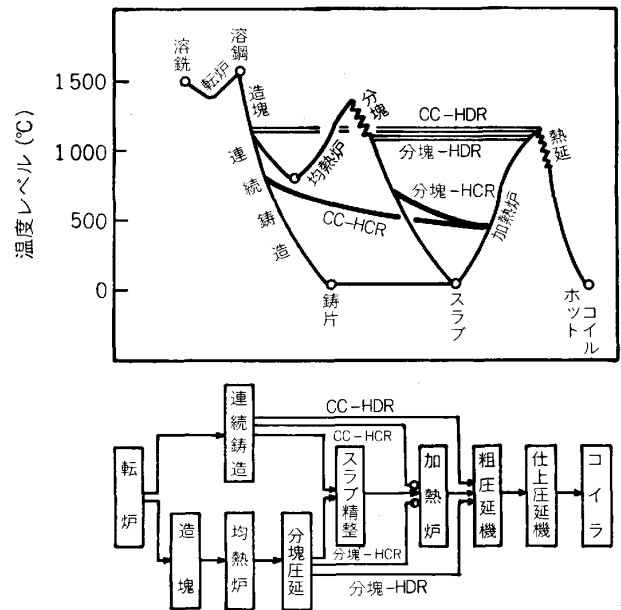


図 4.3.6 HCR・HDR フローと温度変化概念

危機直後にテーブル等で分塊-熱延が直結され、実用化された。本格実施に際しては、冷間手入れの必要のないスラブの造りこみ技術、熱延計画に合わせて、製鋼-分塊-熱延の各工程を途中停帯なく運用できる工程システムや成分、温度等の適中率の極めて高い製鋼・分塊技術が要求された。この直送圧延の効果は、再加熱を必要としないから、 $250 \times 10^3 \sim 300 \times 10^3$ kcal/t の省エネルギーとなるとともに、加熱炉で生成するスケールロスを防止し、0.5~0.7% の歩留向上がはかられた。このように効果が大きいため、直送率 70% までに及び、燃料原単位 100×10^3 kcal/t 強のミルも出現したが、高铸片歩留り、省エネルギー、省プロセスで総合的に有利な連铸 (CC) 化時代に突入し、比率拡大一途の今日では、分塊プロセスの消滅とともに分塊-HDR もなくなるであろう。

(ロ)-2 ホットチャージ

HCR は図 4.3.6 に示すように、铸片を高温のまま直接加熱炉へ装入して顕熱を有効に利用するもので、省エネルギー効果は、図 4.3.7 のごとく装入温度で異なるが、約 $400 \sim 500^\circ\text{C}$ で装入して、およそ 100×10^3 kcal/t の燃料節減ができる。初期の HCR は、連铸比率、適用品種、CC-HOT の製造スケジュールの不整合等の制約が多くあり、対象量も多くなく、まともならず、断続的に加熱炉に装入され、十分な効果があがらなかった。HCR の省エネルギー効果を高めるためには、装入比率の増加、連続装入量そのものの増加等の量の拡大と、熱片の装入温度を高くする質的向上が課題であった。この対応としては後述の連続比技術の開発が必要である。現状での熱片比率は全国平均で約 50%、比率最大ミルで

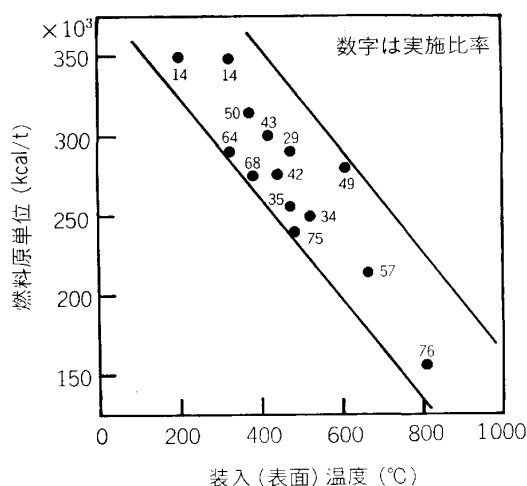


図 4-3-7 HCR 実施効果

約 80%，装入温度は平均 500°C 最高で 800°C くらいである。(図 4-3-7)

(ロ)-3 連続化技術と直送圧延

省エネルギープロセスとしての連続化の形態は、現行の HCR の拡大から CC-HDR に移り、将来的には CC-HOT 直結に至ると考えられる。この推進にあたっては連続化、熱延の各工程の固有技術と両プロセスにまたがる一貫管理技術の総合された連続化技術が不可欠であり、以下にその概要と課題を記す。

(ロ)-3-1 無欠陥铸片の製造

高温の铸片を熱延に直送するためには、無欠陥、無手入りが前提となる。薄板の場合、特にノロカミ、表層下介在物、割れ疵等の表面性状が問題となり、この対応として、精度よい湯面制御の採用、断気铸造、パウダーの改善、最適冷却等の連続側の製造技術の確立や熱間疵検出器の採用による品質保証が必要となる。また運用面では、製鋼側の異常による不合格を最小にし、工程計画の適中を高める努力もなされた。今後の課題としては、高張力鋼等の特定鋼種への適用拡大と継目・非正常部スラブの品質保証と運用がある。

(ロ)-3-2 製造パターンの整合

連続はその特性と生産性面からは、同一幅の連続生産が有利である。一方、熱延ではロール摩耗の制約から幅広から幅狭へと圧延し、需要家の望む製品幅に造り分ける。したがって、幅集約指向と幅造り分けと製造パターンが異なり、整合が必要である。この対応として、連続側で铸造中に自由自在な幅調整機能を持つ考えとサイジングミルや強力 VSB のような大幅な幅変更機能を圧延側でもつ考えがあり、その技術開発と最適なあり方の検討がなされている。

また、熱延の品質・作業性確保のために種々の制約があるが、工程運用を有利にするためこれらを緩和しないし

は排除するスケジュールフリー技術の開発がなされている。板厚・板幅・クラウン形状制御については後述するが、ロール摩耗防止技術としてエッジ潤滑、ワークロールシフトが実用化されている。またインラインロール研削やロール材質改善が検討されている。

他方、材質面での整合では、多鋼種小ロット運用がネックとなるので、汎用鋼種の開発と造り分け技術の研究がなされている。

(ロ)-3-3 高温化・温度確保技術

連続における铸片の高温化をはかるために、マシン内外の保温、铸造の高速化や緩水冷等の対策がとられている。また搬送時の放熱防止策としては搬送滞留時間の短縮、搬送台車やテーブルの保熱や保熱炉の設置がなされている。圧延ラインにおける放熱防止策としては後述のごとく M スタンド設置等による粗バー厚アップ、高速圧延や保熱炉等がある。これらの総合効果により CC-HOT 間の温度降下は約 100°C 改善された例もあり、铸片を誘導加熱で軽加熱するだけで CC-HDR が可能となつたミルも出現した。今後は HDR めざして、途中加熱を必要としない铸片高温化や圧延側の低温圧延技術の開発が望まれる。

(ロ)-3-4 一貫工程管理システム

従来の連続計画、圧延計画システムはスラブ置場なるバッファを持つていたために、それぞれ独立していたが CC-HOT の連続化においては新たに一元化したシステムが必要となつた。そのシステム機能は各工程間の負荷バランスや連続の最適化を加味して、圧延スケジュールに即した熱片計画を最適化する連続計画の実施、オンラインリアルタイムでの異常処理や作業指示、物流トラッキング管理や進捗管理がある。

以上の連続化技術の結集により、前述のごとく HCR 比率は拡大された。CC-HDR については、新日鉄堺が前述の途中軽加熱で世界で初めて実現させた。新日鉄室蘭は連続-再加熱-サイジング-直送方式を採用して連続化をはかつた。また新日鉄大分においては直結プロセス V と称し、連続-再加熱-サイジング-HCR 方式を採用し比率 80% 以上、約 800°C で HCR を実施している。これらのミルの燃料原単位は 200×10^3 kcal/t 以下の実績をあげている。今後も CC-HDR を計画推進するミルが続くものと思われる。

(ハ) 低温圧延技術

熱延では、スラブの加熱に要する熱エネルギーは、圧延加工に要するエネルギーよりはるかに大きい。したがって低温圧延は、これによつて増加する圧延電力原単位上昇分よりも、燃料原単位低減効果が大きく、省エネルギー面で有利であるばかりでなく、スケールロス低減に

よる歩留向上の効果もあり、その適用拡大に努力が払われている。また CC-HOT の連続化の観点からは、温度整合面で極めて重要な技術として取り組まれている。低温圧延に必要な技術対応は、圧延ラインの温度降下防止技術と低温圧延に伴う品質改善技術である。

温度降下防止策の基本的考え方は圧延材の暴露表面積を最小にして放熱を低減させたり、加工熱を付加して温度確保を図ることであり、具体的な手段としては粗バー厚アップ、後段負荷圧延、高速圧延や保熱カバーがある。粗バー厚アップは大半のミルで実施され、これに伴い強力なクロップシャの新設または更新がなされた。さらに 2~3 のミルでは、クロップシャ直前に M スタンドと呼ばれるスタンドを増設し、格段の粗バー厚アップを図った。この結果、バー厚は従来約 30 mm から 40~70 mm にアップし、高速圧延を併用して 100~150°C の抽出温度低下が可能となり、燃料原単位も $30 \times 10^3 \sim 40 \times 10^3$ kcal/t 低減できる。

デスケーリングによる温度降下も大きく、低圧化やメカニカルデスケーリングが研究されている。

他方、エッジヒータなどによるライン加熱により、エッジの低温部を高温化し、いつそうの低温圧延を図ることも可能と考えられる。

低温圧延における低温化・高速化は材質、寸法精度、表面性状、巻形状等の品質面に悪影響を及ぼす。品質改善策としては、材質面では固溶問題のない AIN 非利用の新鋼種の開発や、スキッドマーク対策としては油圧圧下・自動幅制御等の高精度圧延の採用、スケール疵対策としてデスケーリング機能強化やロール材質の改善、トップマーク・巻形状対応としては油圧コイラの採用等の総合的対応が必要である。

上述の総合的技術により、熱延における抽出温度は年々着実に低下している。

今後、省エネルギーや連続化の観点から、CC-HOT の温度整合や加熱炉高・低温加熱等へのスケジュールフリー対応がいつそう検討されていくであろう。

(ii) 省電力

熱延で消費する電力エネルギーは燃料エネルギーに次いで大きく、その原単位は図 4.3.5 に示すように、石油危機以降の低操業、低温圧延等の不利な条件が加わったにもかかわらず、設備・操業の改善努力で横ばいに推移している。

省電力に対する考え方は、圧延負荷の軽減、負荷変動時の電源容量の適正選択、固定電力の軽減、電力効率のアップや低操業時の最適操業がある。具体的な対応としては、熱間潤滑、圧延機のユニバーサルジョイント化、ポンプ・ブロワの回転数制御、デスケーリングの幅分

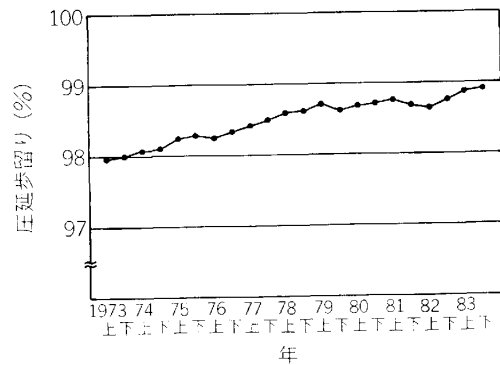


図 4.3.8 歩留り (全国平均) の推移
(日本鉄鋼協会共同研究会: 第 19~40 回鋼板部会
ホットストリップ分科会より作製)

割、プランジャポンプ化、電源の SCR 化等の設備改善がはかられた。ロール冷却においては冷却効率を高め、水量低減や低圧化が可能な省電力型の冷却法やデスケーリングの低圧化も研究されている。操業面では、操業度に合ったポンプ、ブロワ台数の選択や照明節電等のきめ細かい努力が継続されている。また燃料と電力エネルギーの総和がミニマムになる最適点を選定しての最適操業も実施されている。

(c) 歩留りの向上

省エネルギーに次いで、歩留向上が重点課題とされ、改善努力がなされてきた。その結果、図 4.3.8 のように、石油危機以降、歩留りは年々 0.1% 程度の急激な上昇を示し、従来夢とされていた歩留り 99% を突破するミルも出現している。

歩留向上対策としては、スケールロス、クロップロス、ミスロール並びにその他屑等のロスの低減やスラブ単重の増加がある。

スケールロスは裏歩留り中 1% 前後と最も大きく、その低減が重要となる。このロス低減の基本的対策は、加熱雰囲気中の低温化、暴露時間・面積の最小化、雰囲気中の酸素量低減であり、低温圧延、直送圧延・熱片装入、低酸素操炉が有効に実施されている。図 4.3.9 のごとく、スケールロスは従来に比べ、半減されており、0.5% を割る例もある。

クロップロスはスケールロスに次いで大きく、その低減法には、通板技術を向上させ端部のミニ・カットやノーカットの拡大がある。この推進のためにクロップシャの切断精度や切れ味の向上が必要であり、強力クロップシャやクロップ形状を認識して自動切断する方式が採用された。クロップ切断量が最小ですむように、端部の幅落ち防止技術も合わせて研究された。以上の施策の結果、クロップロスもここ 10 年で半減され、0.1% を切るミルもでてきている。

ミスロール等の屑はロスとしての割合は小さい。低減

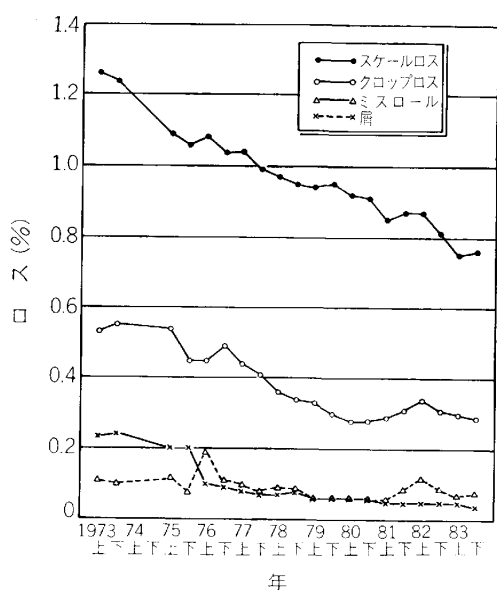


図 4.3.9 裏歩留り (全国平均) 内訳推移
(日本鉄鋼協会共同研究会: 第 19~40 回鋼板部会
ホットストリップ分科会より作製)

策としては、設備面での故障低減やきめ細かな改善や操業面での技能向上、計算機による自動運転が有効であった。ここ数年でミスロール・屑は $1/3 \sim 1/2$ に低減している。

以上の諸対策の結果、裏歩留りは着実に減少し、現在では世界最高レベルにあるが、今後もスケールロスを中心にその低減努力が続くであろう。

(d) 高精度圧延

(i) 板厚精度

次工程や需要家の歩留向上・高精度の要求や低温化指向の背景から板厚精度の改善がはかられた。AGC は従来のアナログ型からデジタル方式 (DDC) となり、高精度の制御機能が付加された。また計算機によるストリップ最先端部のセットアップ制御も厳密な理論式や学習制御理論の適用による精度改善がなされた。最近では、さらに高水準の板厚精度の要求があり、電動式にかかわって、応答性の速い油圧圧下、油圧ルーバや低慣性ルーバが必要となり採用されはじめている。仕上げ圧延における張力変動は寸法精度不良の一因となるから、ルーバを低慣性にして、張力計を設置して、現代制御理論による張力制御も推進されている。そのほか、ロール偏心が制御上の外乱となり精度不良に結びつく。この対策としてキールスベアリングや偏心除去装置が実用化され、精度向上に寄与している。

(ii) 板幅精度

板幅精度はトリム材等の歩留りを大きく左右する。近年、連鑄材の適用拡大や低温圧延指向により、幅圧下量やスキッドマークが増大し、狙い幅変動、コイル内幅変

動、先・後端部ひけ等が問題視された。このため、幅挙動に関して、ドッグボーン形成や幅がり等のエッジング圧延の基本的研究が世界に先がけて実施され、精度のよい幅設定モデルや自動板幅制御 (Automatic Width Control, AWC) 等の新しい技術が開発された。AWC には粗圧延と仕上げ圧延で行われるものがある。粗圧延 AWC は、粗バー幅や幅圧下荷重を検出して、次スタンドのエッジャー開度をフィードフォワード制御し、スキッドマークによる幅変動を低減させる。また先・後端部の幅ひけ部分に対して、あらかじめ幅広に圧延するショートストローク制御を有しているのが一般である。エッジャー駆動は当初は電動式であったが、最近では油圧が広く採用されている。仕上げ AWC は高精度の張力制御やエッジャー等の幅調整装置を組み込んで制御する方式が試みられている。

一方、CC-HOT の連続化や幅集約による連鑄の生産性の観点から、サイジングミル、強力 VSB (垂直圧延脱スケール装置)、カリバーロールエッジング等の幅大圧下技術が研究され、一部実用化された。また大圧下に伴う、フィッシュテールの増大はクroppロス増となり歩留低下となるため、防止技術として、ショートストロークと合わせて押し込み圧延やプレス予成形も検討されている。

板幅精度向上の最終目標は、現状でトリムを実施している材料のノートリム化であり、 $\pm 1 \text{ mm}$ の精度をめざして、今後も努力が続けられるものと思われる。

(iii) クラウン形状制御

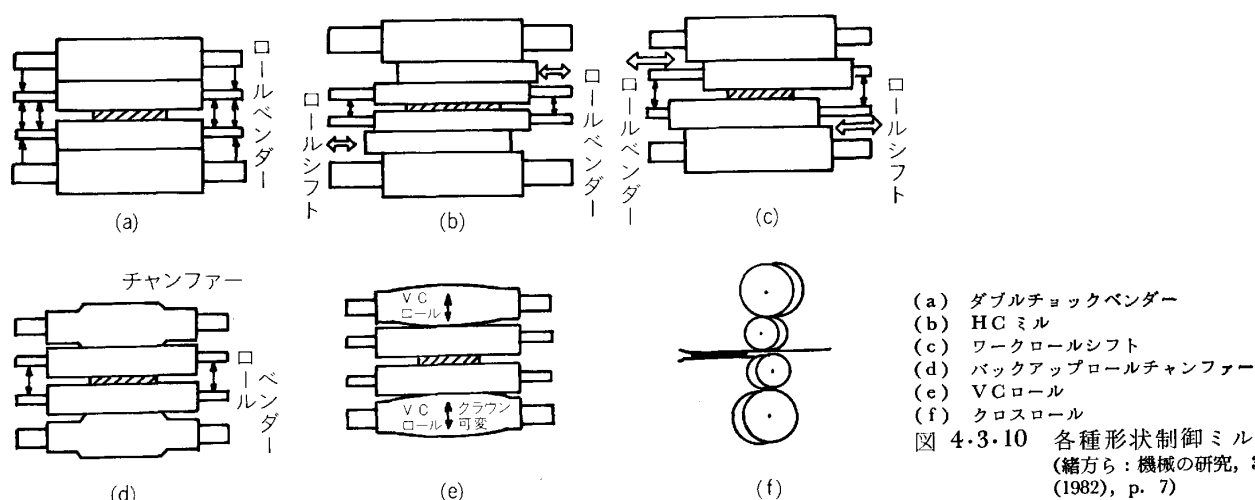
熱延板のクラウンは、歩留り面からは断面の真四角な板、冷圧等の次工程の作業性からは中高クラウンの板と用途により要求が異なり、その精度は厳しさを増している。

従来のクラウン形状制御法としては、仕上げワークロールのイニシャルクラウン、圧延負荷配分、全負荷、圧延ピッチやロールベンダーの調整があるが、いずれもクラウン制御範囲が狭く、ロールの摩耗やサーマルクラウン等の変動の追従も十分でなく、適用対象も限定され満足できるものではなかつた。加えてエッジドロップの低減手段とはなりえなかつた。こうした背景の中で、安定して制御範囲の広い新しい制御法がロールや圧延機の構造面から発想され、実機適用にいたっている。

(イ) ダブルショック・ワークロールベンディング
ワークロール (WR) 軸受を 2 重にすることにより、ベンディング力を増加させ、従来方式よりクラウン変化領域を約 3 倍に拡大させた。(図 4.3.10 (a))

(ロ) 6 段圧延機, High Crown (HC) 圧延機

6 段式圧延機の基本原理は中間ロールを上下点对称に



(a) ダブルショックベンダー
 (b) HC ミル
 (c) ワークロールシフト
 (d) バックアップロールチャンファー
 (e) VC ロール
 (f) クロスロール

図 4-3-10 各種形状制御ミル
 (緒方ら：機械の研究, 34
 (1982), p. 7)

シフトさせて、ワークロール背面のバックアップロール (BUR) の拘束を減じて曲げ効果を高めるとともにロール軸線の曲がり減少させるから、形状修正機能が大きく、圧延荷重変動に対しても形状安定している。このことから小径ロールが使用でき、大圧下や動力減へとつながり、エッジドロップも減少する効果がある。また 1 種類のワークロールクラウンで広い範囲の圧延ができるなどの特長がある。この新しい圧延機のその他の機能としては油圧圧下を利用した蛇行制御やワークロールシフトとの組み合わせによるスケジュールフリー圧延指向がある。(図 4-3-10 (b)) 実機化例としては新日鉄八幡、日新呉、川鉄水島がある。

(ハ) ワークロールシフト

4 段圧延機において、ワークロールを板幅に応じてシフトすることによりクラウン制御効果の拡大を図るもので任意の板幅変化に追従できる。特にワークロール胴端部をテーパ状にすることにより、端部の板厚が直接的に増加するので、エッジドロップの改善に著しく寄与する。他方、ワークロールを一定間隔でサイクリックにシフトさせロール偏摩耗やサーマルクラウンを平滑化できるので、スケジュールフリー技術としても注目されている。実機適用に際しては、クラウン制御、エッジドロップ低減、スケジュールフリー等のそれぞれの目的に応じて設置スタンドを選定する必要がある。千葉の第 1 ホットにおいて実機化され、その後、数ミルが現在計画中である。(図 4-3-10 (c))

(ニ) バックアップロールチャンファー・大クラウンバックアップロール

この方法はバックアップロールにチャンファーやクラウンを付けて、ワークロールの胴端部の接触圧力を低減させ、ベンディング力による制御範囲を拡大するものである。プロフィール制御範囲はフラットの場合に比して、

約 1.5 倍であり、HC ミルやワークロールシフトには及ばなく、板幅対応の制約もあるが、非常に簡単に適用でき、ワークロールのカーブの種類の統一に寄与する利点がある。鋼管福山第 2 ホットや新日鉄君津で実施されている。(図 4-3-10 (d))

(ホ) 可変クラウン (VC) ロール

VC ロールはアーバとスリーブ間に油圧を作用させてスリーブを膨張させ、ロールのクラウンを自在に変化させる巧妙で特異な方法である。ロールベンダーやシフトミル等の組み合わせで、大きな複合効果が期待されている。住金と歌山等で熱延仕上げミルやスキンパスミル等への適用報告例がある。(図 4-3-10 (e))

(ヘ) クロスロール

ロール軸を圧延方向にクロスさせて、ロールにクラウンを等価的に付加した効果を利用したクラウン制御方法であり、スキュー角の制御方法や大きなスラスト力の対応を解決し、新日鉄広畑の新ミルで実機化されている。(図 4-3-10 (f))

その他、クラウン形状制御には精度よい検出器が不可欠であるが、大半のミルでオンラインプロフィールメータや形状計が設置された。

(エ) 製品の高級化

1970 年代に入り、石油・天然ガス用のラインパイプ素材として、APIX 70 クラスまでの高靱性の極厚高張力鋼コイルの需要が急増した。製造技術としては低温域での高圧下を特徴とする制御圧延が適用され、強力クロップシャーや極厚物コイルの新設・改造により製造体制の確立が図られ、安定供給可能となつた。

近年、自動車の軽量化指向により、薄肉の 50~80 kg f/mm² の加工用高張力鋼の需要がある。これは、従来の特殊元素の添加による析出強化型のものとは異なり、いつそうの優れた成形性が求められ、低降伏点、高延性が

望まれる。製造法としては、合金成分を添加し固溶強化をはかる方法や、制御冷却によるマルテンサイト+フェライトの2相組織化によるものがある。特に省合金型である熱延非調質の2相ハイテンの製造に力が注がれている。要素技術として高精度の制御冷却技術や極低温巻取技術の進歩が必要であった。

熱延における、この種の加工熱処理は、製品の高級化・多様化、鋼種集約と造り分けや省合金の観点から今後いつその技術開発やプロセス改善が推進されるであろう。

(f) 自動化・計算機システム

従来、計算機は主として圧延ラインに導入され、主目的は生産性の向上と省力化であった。石油危機以降ではとりわけ労働集約的で省力化が困難とされた精整ラインやロールショップの自動化・機械化が推進され、低成長下の労働コスト低減に努めた。最近では、MEや自動化技術のめざましい発展を背景に、計算機の適用は、計画・製造・管理の広範囲にわたり、CC-HOTの連続化も加わり、最適な熱延総合システムの構築がめざされた。狙いとしては、受入れから出荷までの一貫管理の自動化、製造工期の短縮、無人化操業が指向されている。すでにレイアウト・設備・操業を最適に一体化する総合システムを開発し、管理要員・ハンドリング要員をゼロ化したヤード操業が可能な鋼管扇島ミルもある。無人化操業は労働生産性を高めるのみならず、単純、重筋、高熱作業からの解放といった労働の質的改善も評価でき、今後の労働力確保の困難な背景からも強力に推進する必要がある。

(g) 設備動向

ここ10年間の熱延の設備投資は、前述のごとく省エネルギー、省資源、高精度圧延関連が主体であった。

区 分	新技術	実 施 ミ ル 数		
		5	10	15
HCR・HDR	HCR拡大	[実]		
	CC連続化	[計]		
加熱炉省エネルギー	高効率レキベレータ	[実]		
	排熱回収ボイラ ヒートポンプ	[計]		
低温圧延	強力クロムレンガ	[計]		
	Mスタンド	[計]		
板厚精度	油圧圧下	[計]		
	油圧レンバ 機構	[計]		
板幅精度	粗AWC (SS含)	[計]		
	仕上げAWC	[計]		
クラウン形状	HCMミル	[計]		
	ワークロール	[計]		
	VCRロール (クロスロール)	[計]		
巻形状	形状計	[計]		
	油圧コイラ	[計]		

図 4.3.11 新技術の設備化状況

[実] 実施済 [計] 計画中

図 4.3.11 に新技術の設備化状況を示す。

新ミル建設としては、1979年京浜、1980年呉、1982年八幡、1984年広畑にとどまる。いずれも古いミルのリフレッシュと考えられる。

今後の展望としては、不確定要素が多いが、低成長、鉄鋼需要の伸び悩み、後進国の台頭は引き続きものと思われる。したがって日本の熱延においては、採算性・競争力を維持するために、燃料・電力原単位向上、歩留りの向上、製品高級化をめざして、新技術開発や設備改善を引き続き、強力に推進しなければならないであろう。

(2) 冷延

(a) コールドストリップ

(i) 緒言

わが国における冷間帯鋼生産高は図 4.3.12 に示すように、昭和40年代の10年間の伸びに対し、昭和50年以降の伸びは大幅に鈍化している。昭和40年代は、高度経済成長に支えられた需要の伸びに対応し、高速タンデム冷間圧延機の新設(11基)が続いたのに比べ、昭和50年以降、タンデム圧延機の新設は2基のみである。これは一つには、昭和48年のオイルショックによる経済不況以降、欧米市場の輸入抑制の動きと国内需要の低迷により、それまでの量的拡大から省エネルギー、省力化、歩留向上によるコストダウンと需要家要求の厳格化に対する品質向上へと方向転換が図られたことによるものである。この結果、冷延鋼板の製造技術に関していえば、需要家の厳しい品質要求に答えながら多品種・少ロットの製品をいかに効率良く大量生産するかが課題となつた。以下、冷延鋼板製造工程ごとの技術進歩と将来に対する展望について述べるが、従来、酸洗・冷延・電解清浄・焼鈍・調圧・精整・梱包と多数の工程から構成されていた製造プロセスを、各工程の連続化・直結化により効率的な製造プロセスとして再構築することが近年

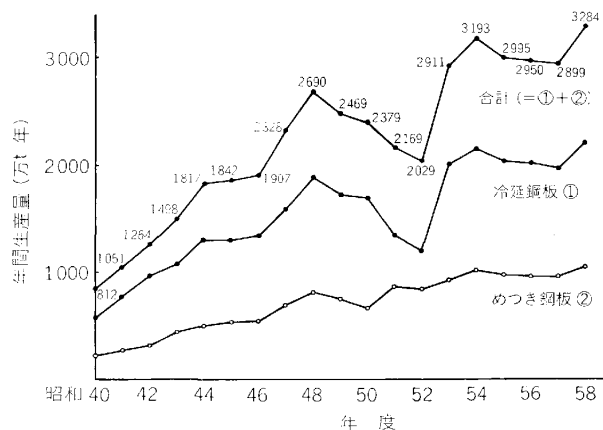


図 4.3.12 普通鋼(冷延鋼板+めつき鋼板)年間生産量の推移 (通産省鉄鋼統計月報より)

の技術進歩の最大の特徴であり、それらについてはおのの関連する工程のところで触れることとする。

(ii) 酸洗技術の進歩

(イ) 概論

昭和 40 年代後半に酸洗速度 300 mpm を超える高速連続式塩酸酸洗ラインが完成し、生産能率の飛躍的向上さらには塩酸によるストリップ表面品位の向上が可能となつた。その後、酸洗技術の基本型式上の大きな変化はないが、近年、廃酸処理の省略とコスト低減を目的にメカニカル・デスケーリング技術が開発されており、昭和 55 年には塩酸との併用で実用 1 号機が稼働している。更に現在、プレデスケーラーとしてさまざまな技術が開発されつつあり、近い将来酸を使用しない完全メカニカル・デスケーリング技術が実現するであろう。

操業技術面においては酸洗歩留りおよび蒸気に代表される原単位のいずれにおいても、着実に実績は向上している。これは、コイルのトップ・ボトムクロップ代の減少、トリム代の縮小、ノートリム化などの操業技術改善、さらには排水の熱回収・再使用、酸洗槽の二重蓋化、断熱フロートの使用などの技術改善の積み重ねによつてなされたものである。

また、年々厳しくなる品質要求に対し、表面疵検出器、内部欠陥検出器、板幅計、プロフィールメータなどを装備し、ストリップの中間検査ラインとして一貫品質管理の中での役割を高めることも今後重要性を増してくるであろう。

(ロ) デスケーリング方式の効率化

デスケーリング効率の向上、電磁鋼板などの難デスケーリング材の効率的デスケーリング、また無酸化への指向も環境面から強く、メカニカル・デスケーリング技術の開発に拍車がかかった。酸を用いないデスケーリング法として、プラスト法・研削法またその前処理技術としてのスキンパス、テンションレベラーなどとの組み合わせ効果が種々検討され、現在砂鉄スラリーの高圧水による吹き付け法およびスキンパス、テンションレベラーがすでに実用化されている。

(ハ) 自動化技術

酸洗ラインの自動化は、入・出側コイルハンドリングの自動運転を中心に普及してきた。プロセス計算機の導入例は少なく、しかも工程管理機能が中心である。酸洗ラインでのコイルのビルド・アップを行う溶接機として現在その多くはフラッシュバット溶接機を採用している。タンデムミルにおける板破断防止の観点から溶接条件の選定、溶接機精度向上が図られてきた結果、溶接部の信頼性は飛躍的に向上した。近年ではさらに徹底した自動化を行うことにより、溶接ハンドリング時間を削減

し、同時に溶接品位向上と自動検査機能を有した全自動溶接機が実用化されている。また、従来のフラッシュバット方式では溶接が困難であつた電磁鋼・フェライト系ステンレス鋼もレーザー溶接機の出現により効率的な溶接が可能になつた。

(iii) 冷延技術の進歩

(イ) 概論

昭和 50 年以降はまさに量から質への転換期にあり、計算機制御の発達に支えられた圧延制御技術の向上と、需要家からの製品の品質に対する要求厳格化に対応する品質水準の向上、さらには冷間圧延工程の効率化を狙つた完全連続圧延技術の確立にその特徴があつた。

冷間圧延機の計算機制御は昭和 45 年前後より本格的な稼働に入つたが、その後プロセスコンピュータの大容量化、機能拡充が進む一方、マイクロコンピュータが圧延プロセスに導入され始め、高速・高精度のプロセス制御が可能となつた。油圧圧下、ロードセル、板厚計などの検出機器の精度・応答性の大幅な改善、速度制御系・板厚制御系の DDC 化により圧延制御技術はより効率的で精度の高いものとなつた。

板厚制御技術は、従来からの鋼板の長手方向の板厚精度を向上させるのみでなく、板幅方向の板厚偏差減少を含めた総合的な板厚精度保証技術へと発展した。形状制御技術は後述するさまざまなミル型式の出現と形状検出器の実用化により大いに進展した。ロールベンディング法と組み合わせるロールのたわみを機械的に制御するのみでなく、熱の影響によるロールのサーマルクラウン制御とも連結した総合的な制御システムの実用化の報告が見られるようになった。安定した完全自動制御システムの実用化も間近である。

熱延など前工程での省エネルギー、コストダウンを狙つた冷延原板の厚手化、また自動車・家電産業における高張力鋼板化動向に伴い、冷間圧延機に高圧下率圧延が要求されるようになってきたが、その圧延可能範囲を広げる目的でワークロールの径小化およびさまざまなミル型式が出現してきたことも最近の一つの特徴である。

昭和 46 年に完全連続式冷間圧延機の 1 号機が稼働以来、10 年近く完全連続式圧延機は現れなかつたが、ここ数年の間に改造・新設が相次ぎ、現在では 7 基を数えるに至つた。これらは生産性のもとより品質の向上にも大きく貢献する技術である。さらにこれらの連続化の中には、タンデム圧延機のみならず連続化にとどまらず、前工程の酸洗、後工程の焼鈍とも直結した連続式圧延機も出現しており、冷延鋼板製造プロセスそのものに革新をもたらす技術として大いに注目される。

(ロ) ミル型式、形状制御技術の進歩

ロールの弾性たわみを変化させる方式		
ダブルチョック ワークロールベンディング	6 重式圧延機	スリーブシフト圧延機
(A) 作業ロール軸受チョック に、軸方向の離れた 2ヶ 所で曲げ力を加える作業 ロール曲げ方式	(B) 支持ロール 中間ロール 作業ロール 作業ロール 中間ロール 支持ロール	(C) 支持ロール スリーブ 作業ロール 作業ロール 支持ロール スリーブ
ロールスリーブの膨張を利用する 方式	多分割支持軸受により クラウン・形状制御をする方式	
Variable Crown (VC) 圧延機	F F C ミル	NMR ミル
(D) プラグ アーバ スリーブ ロータリジョイント 油圧 φ1447.8 2006.6 5016.5	(E) 支持ロール 大径作業ロール ストリップ 小径作業ロール 中間ロール 支持ロール 圧延方向 オフセット 分割水平 押しロール 水平押し力	(F) σ _b σ _f 165 φ 大径側作業ロール (駆動) 大径側支持ロール 480 φ

図 4.3.13 クラウン制御・形状制御を目的とした新しいミル型式

従来、冷延薄板およびめつき製品の冷間圧延には広く 4 重式圧延機が採用されてきた。しかし、この 10 年間に、図 4.3.13 の (A)~(F) 欄にあるように多くの形状制御機構や形状制御機能を具備した圧延機が開発された。昭和 49 年、ワークロールとバックアップロールの中間に板幅方向に移動可能な中間ロールを有する 6 重式圧延機が出現した(B)。これは従来の 4 重式圧延機に比べて形状制御性に優れ、それ故にワークロールの径小化が可能となり高圧下率圧延をも可能にする圧延機として注目を浴びた。その後も、板幅方向の板厚分布の改善、極薄・硬質材の圧延、高圧下率圧延、形状制御性などを

目的としてミル型式の開発が積極的に進められた。小径ワークロールに水平曲げ機能を持たせた 5 重式または 6 重式の圧延機 (E)、4 重式ミルの上半分を多段ロールとしワークロールの小径化と分割バックアップロールの偏心機構を取り入れた圧延機 (F) などが高圧下性と形状制御性を有した圧延機として一部実用化されている。

形状制御技術としては、スリーブとアーバーとの間に有する油室の圧力制御によりロールをふくらませてロールたわみを相殺する VC ミル (D) が実用化されている。また、張力分布型形状制御装置を圧延機の出側に組み込み、板幅方向の張力分布を制御することによる形状

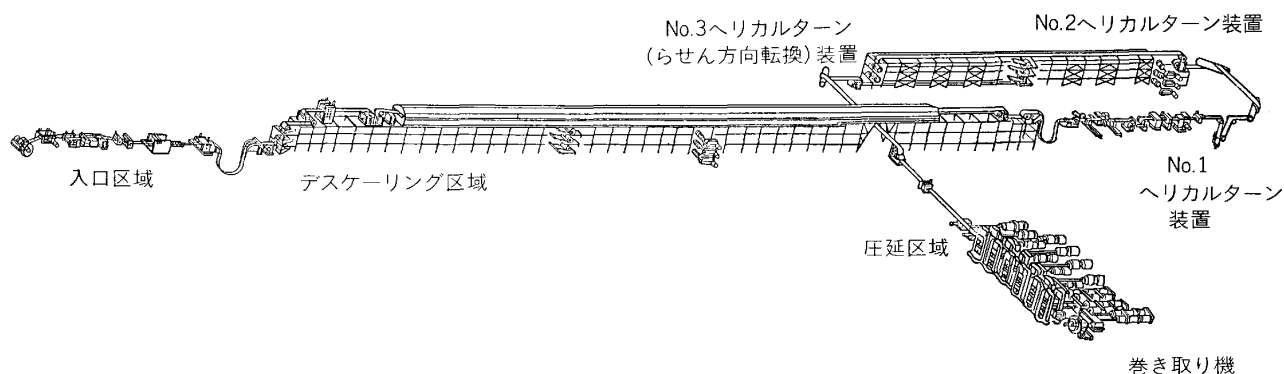


図 4-3-14 鋼板 90° 曲げ技術を採用した酸洗・冷延直結化

制御技術も報告されている。6重式ミルに中間ロールベンディングを装備した圧延機が複合伸び制御能力に優れた圧延機として実用化されている。これらの圧延機と前述した新形式圧延機（E）、（F）などを含めて、今後更に形状制御性、高圧下性について技術開発が進展するであろう。

（ハ） タンデム圧延機の連続化

連続圧延を支える走間板厚変更技術は、油圧圧下、速度制御、板厚制御などの制御技術のレベルアップにより大幅に向上し、板厚変化率 200% を超える板厚変更も実行されている。

連続式圧延機への改造に付随してローラータイプのストリップ転回装置を使用して鋼帯の進行方向を 90° 変換する技術も開発され、圧延機への適用のみでなく広く鋼板のプロセスラインに応用可能な設備技術として評価される。（図 4-3-14）

最近の圧延機連続化の特徴として、前工程の酸洗、後工程の焼鈍と直結した連続式圧延機の出現があげられる。これは設備診断技術の向上による設備そのものに対する信頼性の向上、板厚変更などスケジュールフリー化技術の向上とともに、トータルプロセスとしてのプロセス制御技術の向上によつて可能になったものといえる。このように圧延機が高効率化し、しかも連続プロセス化されることにより、製品の品質レベルも向上し安定するものであるが、従来に比べると中間工程での品質検査の機会が減じているのも事実であり、品質保証機器の実用化と併行した技術開発を進めることが今後の課題である。

（iv） 焼鈍技術の進歩

最近の焼鈍技術の進歩は、昭和 46 年から 47 年にかけて世界に先がけて稼働を開始した連続焼鈍設備の普及と技術の進展に代表される。

連続焼鈍による冷延鋼板の製造は、従来プロセスと比較して製品の材質、形状および表面品質が向上すること

に加えて製造工程日数の短縮、省力および省エネルギーが図れる長所がある。昭和 58 年下期実績で約 25 万 t / 月の処理となり、また連続焼鈍化率は 23% を超えるほどになった。連続焼鈍プロセスでは、均熱後、鋼帯を冷却し、過時効処理を行うが、この冷却方式としては、ガスジェット冷却（GJ）および水焼入れ（WQ）の 2 方式が一般的であつた。GJ 方式は冷却設備は簡単であるが、冷却速度が遅いため固溶炭素の過飽和度が小さく過時効処理時間を長くとる必要がある。一方、WQ 方式は噴流水中へ焼入れるので冷却速度は速いが、鋼帯を過時効処理温度まで再加熱するためのエネルギーを必要とする欠点がある。これらの冷却方式の欠点を補う方式について、その後、開発が続けられ、高速ガスジェット冷却方式、水冷ロール冷却方式、気水冷却方式などがすでに実用化されている。

一方、ぶりき原板の製造において、従来連続ラインにて製造可能な品種は硬質グレードに限られていたが、最近軟質ぶりきの連続焼鈍技術も完成し、すべてのテンパーグレードの製品を造り分けることができる連続焼鈍設備が実用化された。更に冷延鋼板とぶりき原板の両方を一つのラインで製造できる多目的連続焼鈍ラインも実用化されている。

生産性の向上と品質の向上を目的として今後とも連続焼鈍技術は発展していくと思われ、完全連続式圧延機とともに冷延鋼板製造体系の中心をなしてゆくであろう。

（v） 精整技術の進歩

精整工程は従来よりその性格上、冷延鋼板製造工程において、やや生産性の低い分野であつた。近年、連続焼鈍化が進むことにより連続プロセス化される傾向にあるが、冷延鋼板の品質に対する要求レベルが厳格化するに伴い、その役割はより重要なものとなつている。

形状管理に関しては、精整ラインにテンションレベラーを設置する例が一般的となり有力な形状矯正手段である。極薄、高張力鋼板に対する形状矯正能力が高いとき

れている静圧方式ハイドロ・テンションレベラーなど新しい技術として注目されている。疵検査測定作業はラインの高速化と精度向上指向に伴い、従来の官能検査から光学的な検出装置を利用した自動化の方向へ進みつつある。レーザーを光源とし、検出信号の画像処理による自動疵判別装置も一部実用化がはじまっている。

精整工程の生産性向上を目的として、調質圧延・精整・コイル梱包を連続化した新プロセスが、昭和 58 年稼働開始したが、前工程のプロセス連続化とともに今後の動向が注目される技術である。冷延鋼板の製造コストに占める梱包費用の割合は大きく、省力・省資源対策の両面から梱包作業の自動化と梱包様式の合理化が開発推進されている。切板梱包・コイル梱包とも一部自動化されたラインが実用化されており、完全自動化の実現も間近である。成品倉庫の合理化も大きな課題であるが、昭和 57 年には国内初の重量物コイルの立体倉庫が完成し、置場効率向上はもちろん省力化にも大きく貢献している。

(vi) 結言

以上、この 10 年間のわが国におけるコールドストリップの圧延および精整技術の進歩について述べた。鉄鋼業をとりまく社会的経済的環境は日を追って厳しさを増しており、今後とも国際市場における競争に打ち勝つていくためには、品質向上・省力化・省エネルギー・コストダウンに向けての総合的な対策が必要となつてきている。複雑多岐にわたる製造工程を有するコールドストリップ部門においては、各工程での個別対策には限界があり、新しい一貫プロセスによる製造工程の合理化に取り

組み効率的な開発を行い新技術を果敢に実用化していく必要がある。最後に表 4.3.1 に最近の冷延鋼板製造プロセスの連続化・直結化実施状況一覧を示す。

(b) ステンレス鋼板、電磁鋼板

(i) ステンレス鋼板

ステンレス鋼の生産はマクロ的には順調に伸び、世界の粗鋼生産量は 1973~1982 年の 10 年間は年平均 700 万 t (最高は 1979 年の 812 万 t) に達し、1963~1972 年平均 388 万 t の 1.8 倍となつた。日本の粗鋼生産も 1973~1982 年は年平均 217 万 t (最高は 1980 年の 238 万 t) に達し、1963~1972 年の年平均 96 万 t の 2.26 倍となつた。冷延鋼板も 1974~1983 年の年平均生産量は 68.7 万 t (最高は 1979 年の 81 万 t) を記録し、1964~1973 年の平均 41.5 万 t に比べ 1.66 倍になつた。

日本での成長の理由は価格の上昇が小さく (昭和 48 年と昭和 57 年の SUS 304 の価格比は 1.54 倍)、ステンレス流し台、浴槽、建材、車両等および輸出が好調だったためである。

製造技術、設備の過去 10 年間での方向は、一般鋼種は極力低コスト化のために大量生産方式を指向し、難生産性の特殊鋼種は少量多品種の効率的生産に努力が傾注された。

(イ) 製鋼技術

ステンレス鋼の製鋼は電気炉主体から、溶製、精錬の機能を効率よく行うために、Cr 系が転炉-VOD または RH-OB, Ni 系が EF-AOD の組み合わせが主流となり、転炉での精錬も行われるようになった。このため効率、品質面での改善が著しく、特に Cr 系の性能改善に

表 4.3.1 冷延鋼板製造プロセスの連続化・直結化実施状況

稼働	製鉄所	ライン名	酸洗	冷延	電清	焼鈍	調圧	精整	梱包
1971年 6月	日本鋼管	福山		2 CM					
1972 10	新日鉄	君津		CAPL					
1976 8	日本鋼管	福山		CAL					
1979 2	新日鉄	八幡		1CAPL					
1980 5	"	君津		SRL					
6	川鉄	千葉		KM-CAL I					
1981 7	住金	鹿島		連焼					
11	新日鉄	君津		CD CM					
1982 3	神鋼	加古川		CAL					
7	新日鉄	名古屋		CAPL					
8	"	広畑		CAPL					
10	"	八幡		4 CM					
11	"	八幡		2CAPL					
1983 2	住金	鹿島		1 CM					
4	川鉄	千葉		TPL					
1984 2	"	水島		KM-CAL II					
6	"	千葉		6 T					
1985 6(予定)	"	水島		5 T					

対する高純化技術の発展が大きかった。

連続鋳造も極一部の特殊鋼種を除くほとんどすべての鋼種に適用され連続鋳造化率はほぼ 100% に達した。連鋳鋳片の表面肌改善にも自動注入、湯面レベルコントロール、オンレーションのハイサイクル化などの設備が導入され、スラブの無手入れ化も実施されるに至っている。

(ロ) 熱延技術

熱延設備としてストリップミル、プラネタリーミル、ステッケルミルは変わっていないが、コイルの大単重化、寸法精度のシビア化、薄手化、表面疵のシビア化などに対して操業、設備両面での改善がなされた。寸法精度改善には仕上げミルの6段化、ワークロールのソフト化、AGC、プロフィールメーターの導入などが行われた。表面疵改善にはコイル巻き取り機のマンドレルの拡張化と保守の徹底による頭尾部掻き疵対策が最も顕著であった。ホットコイルの薄手化については従来冷延で製造していた SUS 304 の 2mm 厚を、ホットコイルで製造することも一部で始まった。

(ハ) 冷間圧延技術

冷間圧延ミルとしてはゼンジミアミルがほとんどであり、タンデムミルによる生産も一部で始まった。ゼンジミアミルでの技術改善は AGC による板厚精度向上が最も進歩し、 $\pm 5 \mu\text{m}$ のオンゲージ率 98.5% 以上の設備が開発された。しかし形状制御、圧延速度向上のための圧延油は今後の重要な課題として残された。

(ニ) 熱処理技術

5 フィート幅の連続焼鈍酸洗設備が 3 社に設置され、国内 6 社の 5 フィート材生産体制が確立した。省エネルギー対策として焼鈍炉の一体炉化、排熱有効利用（レキユペレーター、温水設備）などが一般化した。またプロセス計算機制御システム導入によりラインの高速化、多品種製品対応可能な炉も出現した。操業技術面では SUS 430 ホットコイルの連続焼鈍化が実用化され、生産性、品質面での改善が行われた。

(ホ) 精整の技術および合理化

生産量が増えるに伴い精整工程の物流改善が重要な課題となり、レイアウトの見直しをはじめ、矯正作業のテンションレベラー化、切板の自動パイリング化などを取り入れ合理化が実施された。設備技術としてはスキンパスの VC ロール化（図 4.3.13 参照）、かえりなしスリット化が一部で採用されはじめた。

(ヘ) 今後の課題

ステンレス鋼は高強度、高耐熱性、高耐食性を特長としているので、製造の際これらが普通鋼に比べてプロセスおよび設備に特殊なものを必要とする原因になつてい

る。省工程技術は少しずつ進歩しているが、基本的製造プロセスの変革はほとんど出ていない。製鋼から冷延工程に至る全プロセスを通しての抜本的革新が最重要課題である。

(ii) 電磁鋼板

電磁鋼板の生産量は石油ショックの影響を受け、1974 年の世界計で約 450 万 t をピークに、やや減少横ばい傾向にある。1981 年のこれは約 400 万 t で、我が国の生産量 94 万 t はソ連につぐ世界第二位のものである。しかし高級電磁鋼板の分野では完全に世界をリードしている。

電磁鋼板に要求される特性としては、①磁気特性の優れていること、②機械的性質の良いこと、③加工性の高いこと、④板厚精度の高いこと、⑤平坦度の良いこと、⑥優れた絶縁皮膜を有すること、等である。しかし近年エネルギー価格の高騰および、コアの自動量産製造化にともない、材質面では低鉄損・高効率素材、形状面では板厚精度厳格材の、市場要求が特に顕著になつてきた。

(イ) 電磁鋼板の圧延技術の進歩

電磁鋼板の高級グレードは Si 含有量が多く、加工硬化しやすい材料であるため、冷延機は小径ロールのゼンジミアミルが使用されている。ゼンジミアミルはタンデムコールドミルにくらべ、板厚制御の開発・実用化が遅れていたが、近年ゼンジミアミル用 AGC システムを開発し、その実用化に成功した。板厚偏差(クラウン)についても、テーパー付ワークロールの使用等でエッジ・ドロップの改善もなされてきた。

低級グレードはタンデムコールドミルで圧延されているが、最近溶接技術の進歩から連続圧延も実施されるようになってきた。

(ロ) 電磁鋼板の熱処理技術の進歩

電磁鋼板の熱処理設備はハースローラ型連続焼鈍ラインが一般に使用されているが、最近では高生産性で、省エネルギー型の設備に発展している。方向性電磁鋼板の製造における最終焼鈍工程でも、①省エネルギー、②生産性の向上、③品質の安定化、を目的として従来のバッチ型焼鈍炉にかわり、回転炉床式連続焼鈍炉を開発・実用化した。

(ハ) 低鉄損電磁鋼板の製造

エネルギーコストの急騰による低鉄損トランス競争で電源トランスなどに使用される方向性電磁鋼板に、要求される低鉄損化はますます顕著となり、鋼板の自動積層装置の普及とあいまつて、板厚を薄くして低鉄損化する技術が見直されるようになってきた。その結果従来よりも薄い製品の供給も可能となつた。また、積鉄心トランス分野では高磁束密度方向性電磁鋼板にレーザを照射し、人

為的に磁区を細分化することで低鉄損化する。新しい技術が開発され実用化された。回転機などに使用される無方向性電磁鋼板も、製鋼・圧延・焼鈍など著しい生産技術の向上で、S8 相当グレードまでが開発され供給可能となった。

4.3.4 厚板圧延技術

厚板製造技術の最近の進歩は、量よりむしろ質の点に重点がおかれてきた。

これら主要技術の発展の背景をなすものとして、

- ① 大容量計算機の急速な発達
- ② センサーを主体とする計測、制御技術の発達
- ③ 原子力用鋼材、寒冷地用鋼材を始めとする需要家からの高度な品質要求
- ④ コストダウン、品質向上へのあくなき向上意欲があげられる。

ここで、最近の顕著な技術的進歩について以下に述べる。

(1) 歩留り

(a) 注文歩留り

我が国の厚板工場の注文歩留りは図 4.3.15 に示すように、最近の数年間で驚異的な進歩をなしとげ、これが他の先進国に比べ技術的優位性を与えているといつても過言ではない。

厚板のようにその大部分が注文生産で計重取引が主体の場合には、寸法制御精度の向上、平面形状制御、一級格落品の減少が注文歩留りの向上に直接結びついている。

(i) 寸法制御

コンピュータの発達は、長年の経験と熟練が必要だった厚板圧延に革命をもたらし、平坦度制御モデルを始め

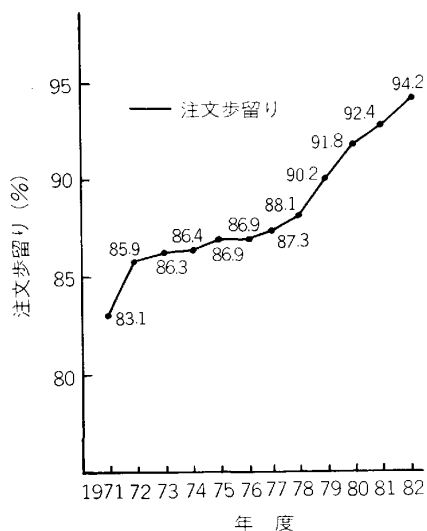


図 4.3.15 注文歩留りの推移

とする各種制御モデルの開発とあいまつて計算機による自動圧延を可能にし、最近では 100% 自動圧延を実施している工場も出現している。

これが板厚精度のみならず、板幅精度の向上に大きく寄与し、後述する油圧圧下の導入等の効果もあつて板厚精度で $1\sigma \leq 70 \mu\text{m}$ を実現している。

油圧圧下装置の導入は、1972 年新日鉄八幡の仕上げミルに導入されて以来、新設ミルの油圧圧下の採用および既設ミルにおける電動圧下から油圧圧下への切り換え改造が急速に進んだ。図 4.3.16 に油圧圧下装置の概略図を示す。

この背景の中には、信頼性の高い油圧サーボ弁がその普及に大きく貢献していることは言うまでもない。

表 4.3.2 に油圧圧下と電動圧下の性能の比較を示す。

このように高応答性と許容圧延荷重範囲の拡大に加え絶対値 AGC の開発実用化によつて、前述の高い板厚精度を可能ならしめている。

このほか、上記油圧圧下の油圧シリンダーに使用されているマグネスケール、3ヘッド γ 線厚み計、熱間スラブ幅計、長さ計等各種センサー類およびその制御システムの開発も寸法精度の向上に大きく貢献している。

(ii) 平面形状制御

従来から圧延中に生じる局所的な幅広がりやその他の要因により厚板の平面形状が矩形から外れることは経験的に良く知られていた。

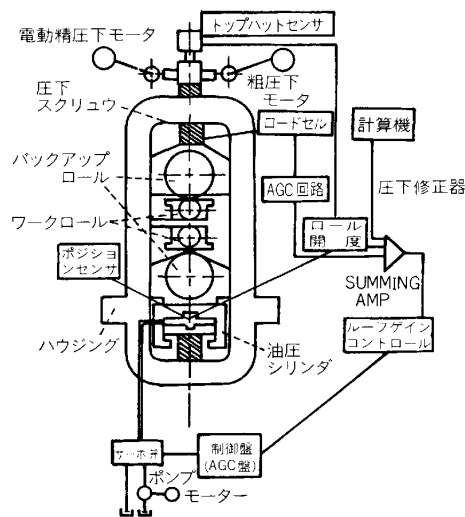


図 4.3.16 油圧の概略図

表 4.3.2 油圧圧下と電動圧下の比較

	油 圧 圧 下	電 動 圧 下
圧延力(最大)	4500~8000 t	3000~6000 t
圧下速度	5~40mm/s	1~1.5mm/s
周波数応答	10~20 Hz	0.5~1.0 Hz

すなわち平板の圧延においては断面積が減少し、圧延方向に長くなると同時に幅方向にも変形し、幅広がりが生じる。

幅広りの現象は被圧延材の先後端でより大きくおこるため、圧延後の鋼板の平面形状が矩形から外れてくる。

この現象は厚板圧延においては主として板厚が厚い段階すなわち成形圧延および幅出し圧延でおこり、圧延終了時の平面形状はそれぞれの段階で生じた変化が複合されて形成される。

従つて、圧延終了時の鋼板平面形状は、スラブ寸法、圧延寸法および幅広りの影響因子により決定されている。

厚板圧延で生じるサイドクロップおよびトップ・ボトムクロップは製品寸法に剪断する際にスクラップとなる。

これらを改善するための各種の修正方法が実施されてきた。

1970年代後半以降、各種センサー類を用いた計算機制御が著しく発展するとともに、強力で応答性の優れた油圧 AGC が導入されたことを背景として、平面形状制御技術が飛躍的に進歩してきている。

平面形状制御法の代表例について述べる。これは、1978年から実用化され始めた新技術である。

その内容は圧延終了後の平面形状変化量を個々の鋼板について予測し、その量に応じて圧延中スラブの厚さプロフィールに変化を与え、最終的に鋼板の平面形状を矩形化するものである。この圧延法の原理を図 4.3.17 に示す。

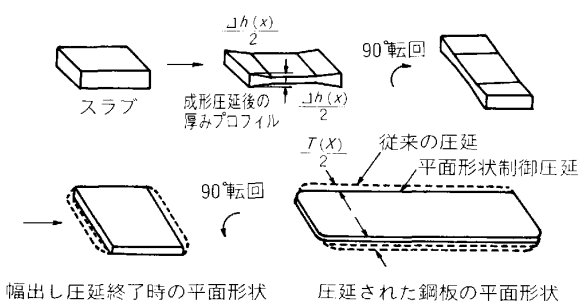


図 4.3.17 代表的平面形状制御圧延法の原理

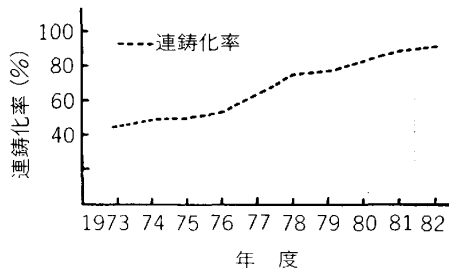


図 4.3.18 連鑄比率の推移

このように各種平面形状制御技術の開発により注文歩留りが飛躍的に向上した。

(iii) 連鑄比率

近年連続鑄造技術の進歩は著しく、厚板での連鑄比率も図 4.3.18 に示すように急速に向上してきており、その比率が 100% の厚板工場もある。

この連鑄比率の急速な進歩は、単に省プロセスによる物流の合理化さらにはホットチャージ比率の拡大につながるのみならず、注文歩留り向上の点でもその意義は大きい。

すなわち、

- 無欠陥鋳片製造技術の進歩をはじめとする素材品質の向上による厚板での製品の格落の減少

- スラブ寸法重量精度の向上

- 余材スラブの減少

が、その主な効果である。

(iv) 素材設計

厚板製品は、ラインパイプ用素材などのごく一部をのぞくと品種およびサイズの面で、また向先および納期の面でもきわめて小ロットである。

素材設計の目的は、これら多種多量の注文を製造指標を満足させ、かつ種々の製造上の制約を配慮しながら、コスト的にも有効な製造ロットをつくり上げ、しかも注文に対する必要最小限の材料をデザインすることにある。

この製造ロットを作り出す作業は、従来の人手による作業からコンピュータによる作業へと大きく進歩し、歩留りロスの減少、正確性、迅速性で大きな効果を発揮している。

(b) 加熱炉燃料原単位

図 4.3.19 に加熱炉燃料原単位の推移を示す。

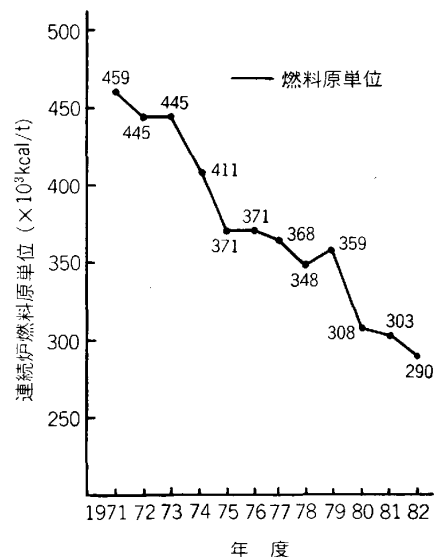


図 4.3.19 加熱炉燃料原単位の推移

図からも明らかなように、加熱炉の燃料原単位の低減は、省エネルギー技術の一つの柱として大きく進歩した。

その主な内容を次に示す。

(i) ホットチャージ

ホットチャージとは、一般に素材を加熱炉へ直送し、高温装入する方法である。

このホットチャージ拡大のための技術課題として、①連続鋳造設備管理技術の確立および無欠陥鋳片製造技術の確立、②熱間鋳片の品質保証体制の確立、③物流および情報処理の迅速化技術があげられる。

厚板におけるホットチャージは、現在 13 事業所中 8 事業所で実施している。ホットチャージ比率は対圧延量比で 40~70% 程度である。また加熱炉への装入温度は一般に 400°C 前後で、冷片に比較して 60~70×10³ kcal/t の燃料原単位の低減がはかられている。

また、ある事業所では、全連続化に加え、製鋼との同期化操業実施により、加熱炉装入温度も 700°C をこえており、150×10³ kcal/t 台の燃料原単位を実現している。

(ii) 加熱炉計算機制御

圧延ピッチ、スラブ加熱温度および装入スラブ断面等は加熱炉燃料原単位に大きな影響を与える。

このような操業条件の変化を適切に把握し、最適の燃焼制御を行うために計算機による制御が導入され始め、すでに 1 部の事業所では、工程化に成功しており、原単位面でも大きな効果をあげている。

(iii) その他の省エネルギー技術

その他、スキッドの三重断熱、セラミックベニアリングによる炉体断熱、レキュペレーターへの更新、増設による排熱回収率の向上および加熱炉主導型の低温操業の実施等も原単位低減へ大きく寄与している。

(2) 連続化、省力化

厚板工場の労働生産性の推移を図 4.3.20 に示す。生産量の増減に比例する形で推移してきた生産性が、近年は生産量がほぼ一定にもかかわらず飛躍的に向上している。

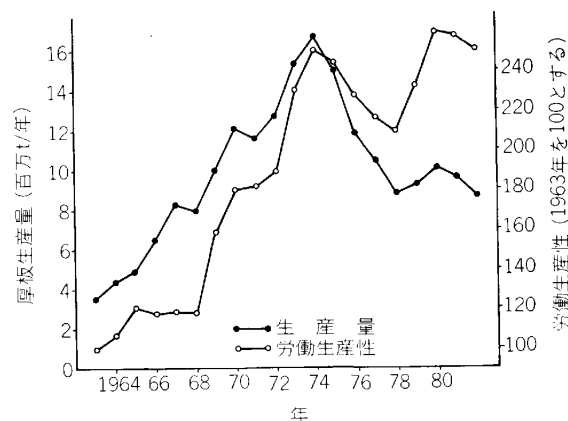


図 4.3.20 労働生産性の推移

(厚板生産量：鉄鋼統計要覧，労働生産性：日本鉄鋼連盟圧延作業調査表より作製)

る。

労働生産性の向上は、①大型化、高速化、②自動化、③連続化に分けて考えることができる。

表 4.3.3 に、最新鋭の厚板ミルの設備仕様を昭和 40 年代のそれと比較して示すが、この比較からも明らかなように、大型化、高速化が一段と進んでいることがわかる。

また、新鋭厚板工場の建設には、上記のような大型化、高速化だけでなく、剪断、精整ラインのような労働集約型が中心の作業に対しても、自動化、省力化機器の導入が積極的に進められ大きな効果が得られている。

次に、連続化技術としては、先に述べたホットチャージの拡大に始まり、直接焼入れの導入による熱処理プロセスの省略、精整から倉庫、出荷に至るまでの直接出荷システム等の省工程化が積極的に進められ、結果として連続化に結びついている。

(3) 加工熱処理

制御圧延、制御冷却および直接焼入れを総称して、ここでは加工熱処理とよぶ。

(a) 制御圧延

制御圧延は、従来より低温靱性のすぐれた鋼板を圧延のまま製造する技術として広く利用されてきている。

この技術は、寒冷地のラインパイプ用素材の製造が開

表 4.3.3 最新鋭の厚板ミルの設備仕様

建設年	1977	1976	1972	1968
制作会社名	M	I	M	I
圧延機名称	5 500mm 4 重仕上圧延機	5 500mm 4 重仕上圧延機	4 800mm 4 重仕上圧延機	4 700mm 4 重仕上圧延機
ワークロール寸法 (mm)	1 200 × 5 500	1 230 × 5 500	1 000 × 4 800	1 050 × 4 700
バックアップロール寸法 (mm)	2 400 × 5 400	2 400 × 5 400	1 900 × 4 300	1 980 × 4 600
最大圧延荷重 (t)	10 000	8 000	6 000	4 500
ハウジングポスト断面積 (cm ²) / 重量 (t)	10 650 / 361	10 000 / 380	8 450 / 210	9 750 / 282
主電動機仕様 (台数 - kW × rpm)	2-8 000 × 50 / 100	2-6 400 × 40 / 100	2-3 750 × 40 / 100	2-4 500 × 40 / 100
AGC の形式	油圧圧下	油圧圧下	油圧圧下	油圧圧下
AGC の圧延時の最大荷重 (t)	5 000	6 000	6 100	6 000

始されて以後急速に進歩し、なかでも 1975 年より製造しているソ連向けラインパイプ用素材 (API-5LX-70) を代表として、より低温靱性に対する要求が高まり、精力的にこの種の研究、実製造が行われ現在に至っている。

(b) 制御冷却

鋼板を冷却する技術は古くより焼入処理等によく知られており、また圧延後の鋼板の頭熱を利用して、これを冷却することによって鋼板を高強度化することが可能であることもよく知られていた。また一方で材質的には制御圧延技術が進歩し、2相域圧延によって強度、靱性が改善されたが、同時に集合組織の発達による、異方性という問題が生じていた。

そのような状況の中でオンライン水冷が注目され始め、歪みの制御、鋼板の均一冷却等の点で問題を残しつつも各所で実用化がはかられた。図 4.3.21 に冷却速度と強度の関係を示す。

加速冷却材の製品は、

① 低炭素当量で高強度が得られるので、溶接性がよい。

② 高強度で高靱性である。

③ 制御圧延の軽減により、セパレーションが減少し Z 方向の特性が改善される。

等の効果がある。

(c) 直接焼入れ

最近の直接焼入れ法は、仕上圧延機後面に焼入設備を配置して、圧延後の鋼板の熱を利用して焼入れする方法である。したがって通常の焼入れ焼もどし法と比較すると、再加熱、焼入れの工程が省略できるという点で、画期的な方法であるといえる。

また、直接焼入れによって、焼入性が向上することも確認されており、今後の設備、新製品開発面での進歩が大いに期待される。

(4) 一貫管理システム

受注生産でかつ少量、多品種、大量生産という三重の

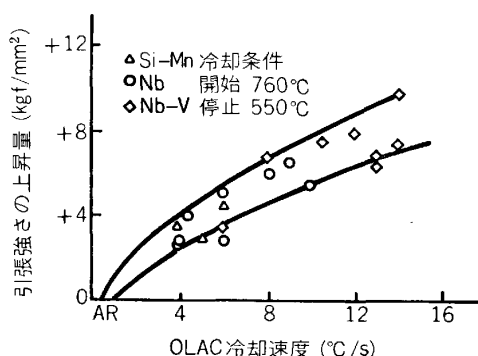


図 4.3.21 冷却速度と強度の関係

構造をもつ厚板製造においては、一品一葉の精度管理が要求され、同時に作業指示、実績収集においても現品即時管理が必要である。

したがって、これらの要求を満足しつつ効率的な、生産活動を実施してゆくには、従来のような人と台帳による管理には限界があり、コンピュータシステムを活用した大量の情報処理が有効である。

また、プロセスコンピュータとの結合による製造工程の機械化、自動化はミスがなくばらつきの少ない製品の製造を可能にすると共に、製造実績の収集に役立つ。

以上のような観点から、最近では、製鋼～厚板～出荷までを一貫して考えた管理システムが開発実用化され、大きな効果をあげている。

これまで紹介してきた厚板の製造技術の進歩は、厚板独自の技術だけでなく、コンピュータやセンサーを駆使した計測制御技術等の周辺技術を含めた総合技術として成り立っている。

今後は、需要家のみならず時代の要求を先取りした形で、この総合技術の向上を積極的に推進していく必要がある。

4.3.5 条鋼圧延

(1) 大形

昭和 40 年代の形鋼部門は、図 4.3.22 に示すような H 形鋼を中心とする需要拡大に対応するために、新形鋼ミル建設および旧ミルの合理化が相次いで実施された。圧延技術的には形鋼で初めての全連続圧延ミルの実現に代表されるように、主として大量生産のための新技術開発が特徴的であつた。

一方、昭和 50 年代は、省エネルギー・歩留向上を中心とするコストダウンへの要求が強まり、圧延技術もこれに呼応した変貌を遂げた。すなわち、素材の連铸化と直送圧延による工程直結化のための新圧延技術の確立および計算機と計測機器を駆使した圧延自動化などであ

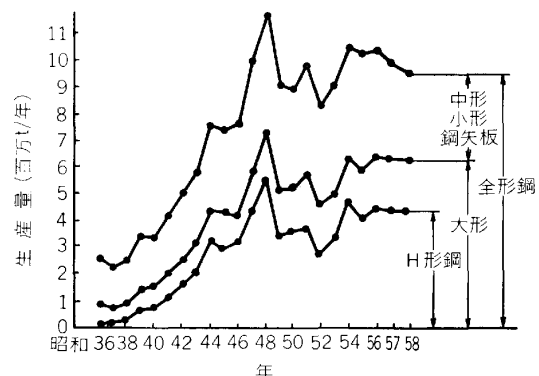


図 4.3.22 形鋼生産量推移 (普通鋼材)
(鉄鋼統計要覧 (鋼材倶楽部))

る。

(a) 技術指標の推移

まず形鋼の代表的操業指標である成品歩留り（一級検定合格トン数÷圧延材料トン数×100%）と燃料原単位の推移と新技術について概説する。

(i) 成品歩留り

連铸化による素材品質の安定化，計算機制御による寸法精度の向上，クロップロス減少圧延法，圧延長さの拡大，操業努力によるミスロール減少など諸対策の積極的な推進の結果，形鋼の成品歩留りはほぼ 96% のレベルに達した。これは，第 1 次オイルショック前の昭和 48 年の歩留りに対し約 2% 上まわるレベルである。素材の連铸化は成品歩留りのみならず，粗鋼から製品までの一貫歩留りに対し顕著な効果を発揮しており，鋼塊法に比べて約 10% の向上が期待できる。

(ii) 燃料原単位

形鋼における最近のレベルは，素材トン当たり 310×10⁹ kcal 台であり，これは昭和 48 年の原単位の約 60% に相当し，大幅な改善がなされた。この大幅な省エネルギーに貢献した技術としては，ホットチャージおよびダイレクトローリングの直送圧延が代表的であり，その他としては加熱炉炉延長・加熱炉の計算機制御・レキュペレーター改造・断熱強化・O₂ 制御などがあげられる。

(b) 素材の連铸化

従来の鋼塊法の場合は，分塊圧延により形鋼ミルのほぼ理想とする形状・寸法の素材を多種類製造することが可能であった。しかし，素材の連铸化においては，連铸

機の設備能力をフルに発揮させるため，素材の種類を極力少なくする（モールド組替回数減少）ことと，大断面とすることが望ましく，また铸造技術上から複雑な形状を得ることは困難である。従つて，形鋼素材の連铸化においては連铸技術のみならず圧延技術面からの対応，すなわち連铸素材と形鋼ミルの設備条件に適した新しい圧延技術の開発が必要となつた。

素材の連铸化の例を分類すると，①ビームブランク，②スラブ，③ブルームを素材として使用するケースに大別することができる。いずれのケースにも共通するのは圧延における多サイズ造り分けである。

(i) 単一サイズビームブランクからの形鋼圧延技術

これは，連铸機のモールドをビームブランク 1 種類のみ（併せてブルーム用モールドを保有するケースもある）とし，形鋼ミルで多サイズの製品を造り分ける例である。この場合の圧延法はウェブ高さの拡大・縮小，フランジ幅の維持・縮小の四つの基本方式の組み合わせにより構成されており，約 30 シリーズの H 形鋼を製造している例もある（図 4.3.23 参照）。

(ii) スラブからの大形形鋼圧延技術

大形形鋼の連铸化にあたり，ビームブランク連铸機を保有できないミルおよびビームブランクでは造形できない大形サイズの形鋼に対して，板用のスラブを適用する研究が行われ多くの実用例が報告されている。

この圧延法の基本は，いずれもスラブの幅方向の多パス大圧下圧延であり，初期パスにてスラブをエッジング圧延する場合に端部にドッグボーン状の変形を発生せしめ，H 形鋼のフランジ幅を確保しようとするものである。

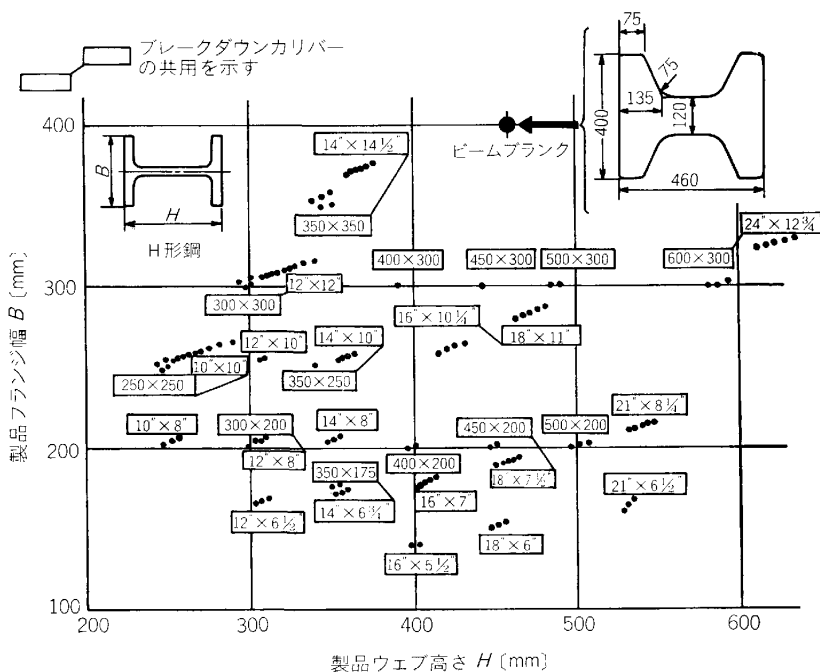


図 4.3.23 単一サイズビームブランクからの多サイズ H 形鋼圧延
（日本鉄鋼協会共同研究会：条鋼部会第 28 回大形分科会資料）

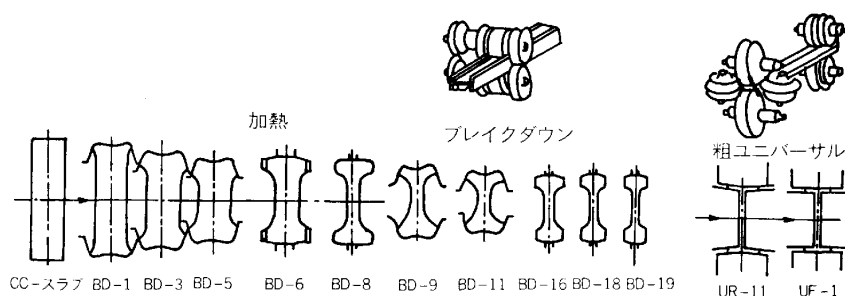


図 4.3.24 連铸スラブからの
1 ヒート圧延法
(林ら：鉄と鋼，67 (1981)，
A157)

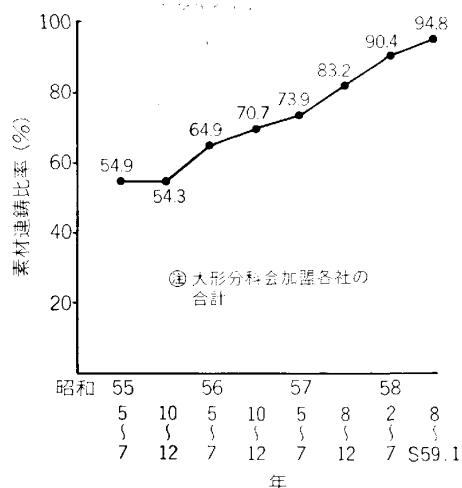


図 4.3.25 形鋼の素材連铸比率の推移
(日本鉄鋼協会共同研究会：条鋼部会大形分科会資料)

圧延法としては、図 4.3.24 に示す例など数種類の方式が実用化されているが、クロップ長の短縮・圧延能率の向上・圧延疵の減少などを目的とする圧延法の最適化が今後の課題である。

(iii) 単一サイズブルームからの形鋼圧延技術

この適用例としては、300 mm×500 mm の単一サイズブルームよりウェブ高さ 125 mm～500 mm，フランジ幅 75 mm～200 mm の 17 シリーズの H-I 形鋼の圧延例が報告されている。この例では、形鋼ミルにおいて多サイズの造り分けとともに、小単重製品は圧延長さを従来の 2 倍 (240 m) とすることによる 1 ヒート圧延比率向上を図っている。

以上のような新圧延法の開発および実用化により、連铸化が困難とされていた超大形 H 形鋼を含め、H 形鋼のほぼ 100% の連铸化が可能となり形鋼の連铸比率は約 95% に上昇した (図 4.3.25 参照)。

(c) 直送圧延

直送圧延は特に新規に開発された技術ではなく、古くからわずかではあるが実施されていた。しかし、この 10 年間に直送圧延比率は急激に上昇し、約 40% に達した。直送圧延比率向上が可能となった要因としては、素材の連铸化などによる表面疵の減少・製鋼～形鋼圧延までの一貫した工程管理システムの確立・素材搬送過程で

の温度低下防止 (保温ピット・保温カバーなど) など総合的な技術レベルの向上があげられる。

(d) 圧延自動化

形鋼の製造工程における要素作業の自動化および生産管理情報処理システム化は継続して推進されているが、この 10 年間に特に計算機および各種計測機器を駆使したプロセスの自動化が進展した。

(e) まとめ

わが国の形鋼ミルでは、素材の連铸化および直送圧延による連铸工場～形鋼ミルの直結化と計算機を活用したプロセス制御の自動化などにより極めて効率的な製造プロセスが実現した。また、今後の新しい形鋼圧延技術の方向としては、すでに試みられている制御圧延・制御冷却による高強度化・低温靱性向上など材質制御のための新プロセスの開発、形鋼用ロール設計・旋削のための CAD/CAM システムの導入などがあげられる。

(2) 棒鋼・線材

(a) 成品の品質特性

(i) 表面きず

棒鋼・線材の加工技術の進歩は著しく、なかでも冷間圧造・鍛造の発展・普及はめざましい。冷間圧造用線材の生産量は 1973 年度に約 90 万 t であつたものが、1982 年度には 150 万 t にも増加した。このような発展は加工設備・技術の進歩によるところが大きい。鋼材の表面きずの減少も大いに貢献している。

棒鋼・線材の表面きず減少を目的とした製鋼から成品の出荷に至る工程改善によつて、最近、表面きず深さは 0.05 mm 以下を保証することも可能となつている。

棒鋼の分野では成品の表面きずを検出して除去する方法の自動化および信頼性の向上が進められ、鋼片での磁気探傷に直結した自動きず取り、圧延ラインでの熱間渦流探傷、圧延成品の冷間自動探傷・きず取りの発展と普及が見られた。線材の場合には、形状・荷姿の制約で全長保証が困難なために、成品の端末検査で保証していたが、最近では全長保証を望まれるケースがでてきており、圧延後のオフラインでの冷間自動探傷と自動きず取り装置を組み合わせた技術が実用化されてきている。

(ii) 線材の成品単重

線材の成品単重の増大は、線材メーカーばかりでなく需要家においても生産性、歩留りの向上に寄与するので1955年以降積極的に進められてきた。1973年頃に2t以上のヘビーコイルを製造できるのは4工場であつたのが、1982年には10工場に増加しており、最近では2.5~3tの成品が製造可能となり、さらに3.5tが可能な設備も建設されている。

このようなヘビーコイルの製造が可能となつた理由は、圧延速度の高速化による圧延途中での熱鋼温度降下の減少、高速巻取装置を含めた精整設備の大型化などのほかに、輸送設備や需要家の加工設備の高速化、大型化があげられる。

(iii) 線材の成品寸法

従来の線材は比較的細い寸法にその用途が多く、太い寸法を必要とする用途には棒鋼が使用されていた。

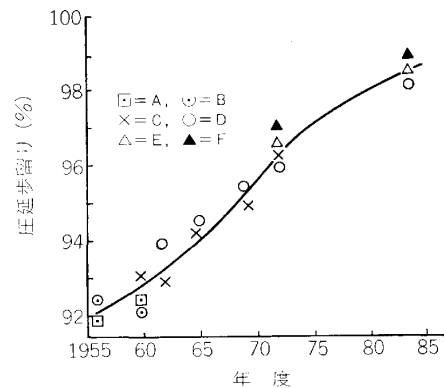
しかし、近年連続抽伸機や伸線機、冷間圧延機などの線材加工設備の大型化と加工技術の向上にともなつて、以前は棒鋼を使用していた太い寸法の用途にも線材を用いることが可能となり、加工工程での生産性と歩留りを向上させている。この傾向に対応する巻取設備（ポーリングリール）の大型化と改善によつて、線材の成品寸法はますます拡大され、現在では50mmの線径を持つ極太線材が生産されており、55mm線径も可能な設備ができてきつつある。

(iv) スケール

線材の多くは伸線工程を経て使用されるが、伸線の前工程として線材表面のスケール除去を行う必要がある。この方法としてMD（メカニカルデスケーリング）法と酸洗法が用いられている。MD法には厚いスケールが適しており、0.4%以上のスケール量になるように制御されているが、最近では線材の加工における歩留り向上を狙つて、良好なMD性をともなつた上で、できるだけ薄いスケールを要求する動きもある。酸洗法においては、成品を結束した状態での酸洗いが可能な振動酸洗法の導入に加えて、酸洗後の線材表面の酸洗ムラを防止するために成品のハンドリング中に発生するスケールの部分剝離を防ぐなど、用途に応じた細い管理も行われている。

(v) 伸線性

高炭素鋼線材は総減面率が90%にも及ぶ伸線加工を受けることが多く、この加工に適した微細パーライト組織を得るために、ステルモア法などの圧延パテンティングが普及しているが、最近では圧延パテンティング設備((c)-(iv))の改善や合金元素の添加により、強度および強度ばらつきとも鉛パテンティング材に相当する成品



A: ガレット式, B: 半連続式, C: 連続式, D: 全連続式 (仕上げ列水平圧延機) E: 全連続式 (太番圧延工場), F: 全連続式 (仕上げ列ブロックミル)

図 4-3-26 国内線材工場の圧延歩留りの推移

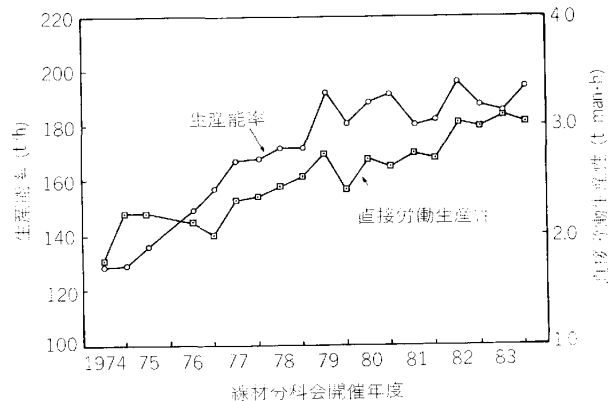


図 4-3-27 ある線材工場の生産能率と直接労働生産性の推移

(日本鉄鋼協会共同研究会線材分科会資料より作製)

が製造可能となつている。

(b) 操業諸元

(i) 歩留り

線材工場の圧延歩留りの推移を図 4-3-26 に示す。歩留りはこの 10 年間に 3% 近くも向上し、99% を越えることも可能な水準に到達している。この目ざましい歩留りの向上は、鋼片単重の増大、クロップおよび成品端末切り捨て量の減少、スケールロスの減少、ミスロールの減少などによつて達成されたものである。成品用途の多様化、高級化が進む中で、表面きずなどに対する要求品質は今後ますます厳しくなると予想され、歩留低下の要因となり得るこれらの要求に応えながら現状の歩留水準をいかにして維持していくかということが今後の課題となつている。

(ii) 生産性

線材工場のこの 10 年間のロール運転時間当たりの生産能率 (t/h) と直接労働時間当たりの生産性 (t/man-h) の向上の一例として、ある線材工場の推移を図 4-3-27 に示した。10 年前に 60 m/s であつた圧延速度は、80 m/s に高速化し、さらに 100 m/s が実現している。

このことによつて生産性は著しく向上し、10年前の4本通しの生産量が2本通しで可能となつた。これに加えて熱鋼の送り間隔の短縮、圧延トラブルの減少などにより生産能率は着実に向上している。労働生産性では、生産能率の向上に加え、省力化機器の導入も見逃せない。

(c) 新技術・新設備

(i) 圧延機

線材圧延機におけるこの10年間の最も大きな進歩は高速ブロックミルの普及であろう。現在、国内ではモルガンミル、メイラーノイマンミルおよび三方ロール式のコックスミルが稼働している。1973年当時に高速ブロックミルを採用していた線材工場は、全体の20%の5工場であつたものが、現在では80%の11工場となつている。

最近建設される高速ミルには、中間列のブロックミル化ともいえる片持ちロール式のプレフィニッシングミルも導入されている。また、これらのブロックミルにおいては従来の鑄鉄系ロールに代わつて超硬合金(WC)ロールが広く採用されている。

粗圧延機のこの10年間の新しい変化は、高減面率を有する連続鍛造機および三個の円錐ロールの自転と公転を活用したPSW(プラネタリークロスローリングミル)などの高圧下圧延機の導入である。

(ii) 操炉技術

1973年のオイルショック以降、棒鋼・線材の加熱炉においても省燃料は重要な課題となり、種々の燃料原単位低減対策が取られたが、主なものには炉体の放散熱を減少させるために炉の天井・側壁の内側に断熱材をライニングする炉体断熱、装入前の冷鋼片を加熱炉の排ガスで予熱する噴流予熱炉の設置、連焼・分塊工場で製造される熱片や温片を直接加熱炉に装入するホットチャージの普及やホットチャージ専用加熱炉の導入、加熱炉を経由せずに熱片を直接圧延する直送圧延の採用、排ガス中の O_2 濃度を測定して自動的に理想的な低空気比燃焼を行う O_2 制御法の導入、計算機を用いて自動的に炉内温度を制御するACC(自動燃焼制御)法の採用などがある。図4-3-28には、この10年間における線材工場の燃料原単位の推移を示した。

(iii) 圧延技術

(イ) 精密圧延

引抜工程の省略などを目的として、棒鋼や線材の寸法精度向上の要求は年々高まつてきている。最近では種々の圧延技術の進歩により、図4-3-29に示すようにAISIバートランスの1/2以下の寸法公差まで圧延可能となつている。このような精密圧延を達成するには、以下のような圧延技術を総結集する必要がある。

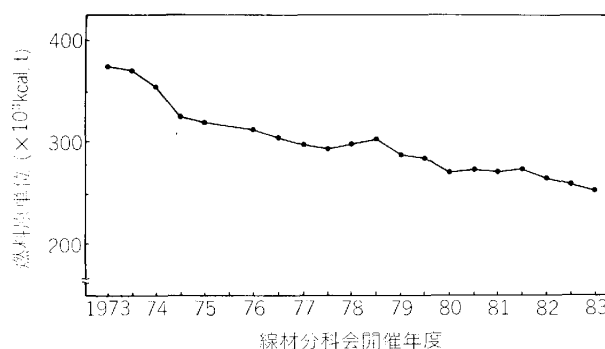


図 4-3-28 国内線材工場の燃料原単位の推移
(日本鉄鋼協会共同研究会線材分科会資料より作製)

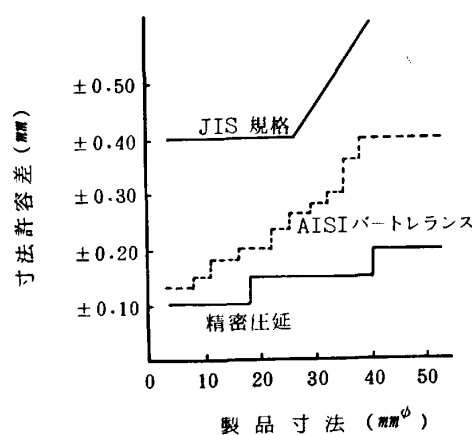


図 4-3-29 各種規格による寸法許容差の比較
(上村：第98・99回西山記念技術講座(日本鉄鋼協会編)(1984), p.275)

- ① 鋼片を均一に加熱する。
- ② 圧延機間の張力を極力小さくする。(例えばループの形成できない粗・中間列に張力制御法を取り入れる。)
- ③ 適切な孔型設計にする。(特に最終仕上孔型は、余裕しろの少ない真円形状にする。)
- ④ 圧延材を正確かつ安定に保持して次の圧延機へ誘導する。

また仕上圧延機の後方にサイジングローラーを設置すればさらには寸法精度の向上が期待できる。

(ロ) 制御圧延

圧延中の材料の加工温度、加工終了時の温度、冷却方法を調整することにより、結晶粒を微細化させ成品の強度と靱性を向上させることができる。このような制御圧延法は、圧延ままで強度と靱性を与え、その後の調質、焼ならしなどの熱処理を省略しようとするもので、例えばバナジウムなどの析出硬化元素を添加した非調質鋼、焼ならし省略鋼などがある。これらの制御圧延では、圧延温度を制御すると同時に冷却(圧延途中・終了後)の制御も適切に組み合わせることが重要である。

(ハ) スリット圧延

1本の鋼片を圧延中に長手方向に分割し、二つないし

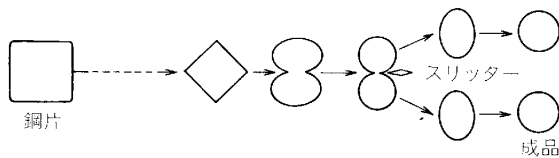


図 4.3.30 スリット圧延のパススケジュール例

それ以上の多ストランドで成品を同時に圧延するスリット圧延法が開発された。

この方式は、図 4.3.30 に示すように特殊なパススケジュールとスリッター（分割装置）を用いており、以下のような特長を有している。

- ① 圧延機台数の減少に伴い、設備費が低減できる。
- ② 既存のミルに設置でき、細物への寸法拡大ができる。
- ③ 細物寸法も太物寸法とほぼ同じ生産能率となる。
- ④ 電力原単位、ロール原単位を低減できる。

(二) グループプレス圧延

棒鋼・線材を圧延するには、孔型ロールを用いて圧延するのが一般的であるが、フラットロールを用いて圧延するグループプレス圧延が一部では採用されてきている。この方式は、以下のような特長を有している。

- ① フラットロールを用いるためロールが兼用でき、ロールコストが低減できる。
- ② ロール組替回数が減少し、稼働率が向上する。
- ③ 均一な圧延のため、クランプ切り捨て量の減少が期待できる。

(iv) 直接熱処理技術

圧延パテンティングや圧延焼鈍などの直接熱処理技術に著しい進展がみられた。

(イ) 圧延パテンティング

高炭素鋼線材は、伸線前に空気パテンティングまたは鉛パテンティングにより金属組織を調整し、伸線性を改善した後伸線されるのが普通である。これらの熱処理と同等の伸線性を得るために仕上圧延終了後の冷却速度を調整するのが圧延パテンティング技術である。これまで国内では、設備構造が簡単で保守、作業性にすぐれ、さらに品質の安定性などの面から、ステルモア法が最も多く採用されてきた。しかしステルモア処理線材は引張強

さが空気パテンティング材と鉛パテンティング材の間であつた。そこで鉛パテンティング並の高強度と均質性を得るために、従来のステルモア法に改良が加えられた。また、新しいタイプの圧延パテンティング法も開発された。

すなわち、衝風冷却ノズルの改善によつてリング内の強度ばらつきを小さく抑えた方法（神鋼加古川）（図 4.3.31）、温水を用いたバッチ式の冷却法を連続処理方式に発展させた方法（EDC、住友電工伊丹）（図 4.3.32）、冷却媒体にソルトを用いた方法（DLP）（図 4.3.33）などである。

(ロ) 圧延焼鈍

冷間圧造用線材、炭酸ガスアーク溶接用線材などの軟化焼鈍省略を目的として、いわゆる圧延焼鈍法が開発された。これは、仕上圧延後の線材のもつ顕熱を利用し、ステルモアコンベア上で緩速冷却することにより軟質化をはかろうとするもので、コンベア上にカバーを施すだけの無加熱タイプ（リターデッド・クーリング法）とカバー内に加熱装置を設けて、カバー内雰囲気温度を調整できるようにした加熱タイプ（スロー・クーリング・システム）（図 4.3.34）がある。

スロー・クーリング・システム処理線材は、炭素鋼、低合金鋼ともステルモア法に比べて 10~20 kgf/mm² 程度の軟質化がはかられている。

(v) 計測とシステム

ますます多様化、高度化する成品品質の要求に対して、品質保証精度の向上（全長保証）および省力を目的として、熱間寸法測定機、熱間きず探傷機などの計測機器およびコンピュータによる張力制御システムが開発された。

熱間寸法測定器は、レーザー走査式寸法測定器が圧延ラインに設置され、寸法の全長管理に利用されるようになった。さらに最近、図 4.3.35 に示すようなプロフィールメーターが開発され、線材の寸法と断面形状を CRT 画面に表示し、形状管理も合わせて行われている。

熱間探傷機は、仕上圧延機の直後に貫通型熱間渦流探傷機が広く採用された。きず検出精度は、深さおよそ

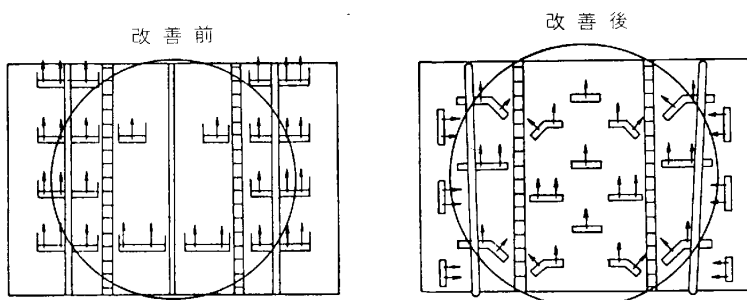
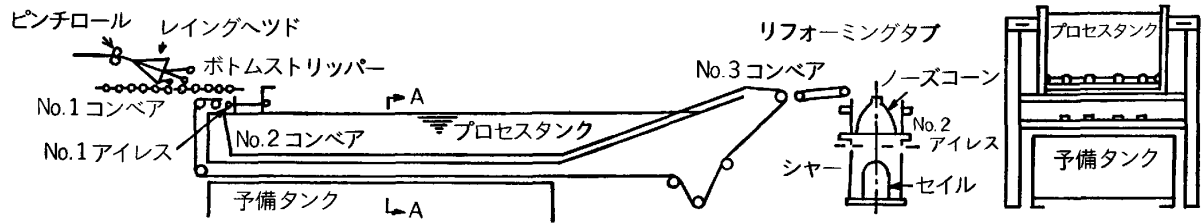


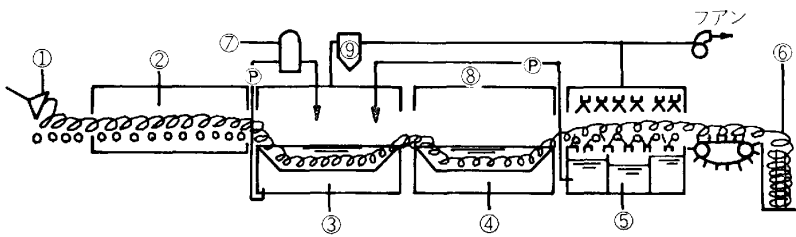
図 4.3.31 衝風ノズル配置の改善例
（上村：第 98・99 回西山記念技術講座
（日本鉄鋼協会編）（1984）、p.277）



主要設備	コンベア長さ	コンベア速度
No. 1 コンベア	3 m, 8 m	0.20~1.20m/s
No. 2 コンベア	21.4m16.4m (浸漬長さ)	0.20~1.20m/s
No. 3 コンベア	3 m	0.20~1.20m/s
プロセスタンク	温度 95°C 以上, 温水浸漬深さ 700m/m	

図 4.3.32 EDC 法概念図

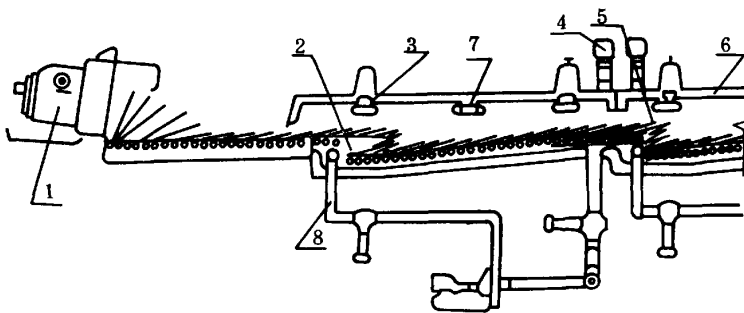
(上村：第 98・99 回西山記念技術講座(日本鉄鋼協会編)(1984), p.279)



- ①レインヘッド ②保定炉 ③No. 1 ソルトバス
- ④No. 2 ソルトバス ⑤洗浄槽 ⑥集束装置
- ⑦ソルト冷却装置 ⑧ソルト回収用スプレー
- ⑨収塵装置

図 4.3.33 DLP 法概念図

(松岡ら：鉄と鋼, 70 (1984), S 529)



- 1レインヘッド 2層厚コイルの形成 3攪拌ファン
- 4抜熱口 5ほぐし及び冷媒吹き付け 6保熱カバー
- 7冷媒ノズル 8冷媒吹き込み装置

図 4.3.34 SCS 法の概念図

(上村：第 98・99 回西山記念技術講座(日本鉄鋼協会編)(1984), p. 281)

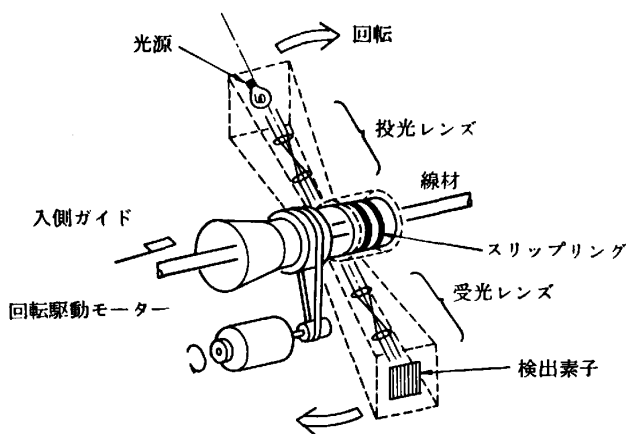


図 4.3.35 プロフィールメーターの回転測定機構

(上村：第 98・99 回西山記念技術講座(日本鉄鋼協会編)(1984), p.274)

0.1 mm 以上のヘゲきずのような不連続きずに対しては、ほぼ 100% 検出されているが、原理上連続きずの検出が困難であるなどの理由から、工程管理用として用いられている。最近では、連続きずの検出が可能な回転

プローブ型探傷機の開発が積極的に進められている。

張力制御システムとしては、従来から中間列・仕上げ列の張力制御法としてループコントロールが実施されているが、成品寸法の太径化にともないループ形成の困難な粗列での張力制御に関心が高まり、一部の棒鋼工場ではコンピュータと計測機器を駆使した無張力制御のための張力検出技術が開発され、寸法精度向上に貢献している。

また最近では、圧延関係のプロセス制御に対して、①加熱炉での自動燃焼制御、②自動ミルセッティング、③制御冷却のための温度制御、④棒鋼の最適切断、仕分けなどについてコンピュータの導入が進められている。

(vi) 棒鋼の加工・検査

従来、棒鋼の加工・検査においては多くの人手を要していたが、この分野においても着実に機械化が進んできた。

棒鋼表面きずの検査は、一部の磁粉探傷材を除いて目視で行っていたが、需要家の要求が年々厳しくなつてお

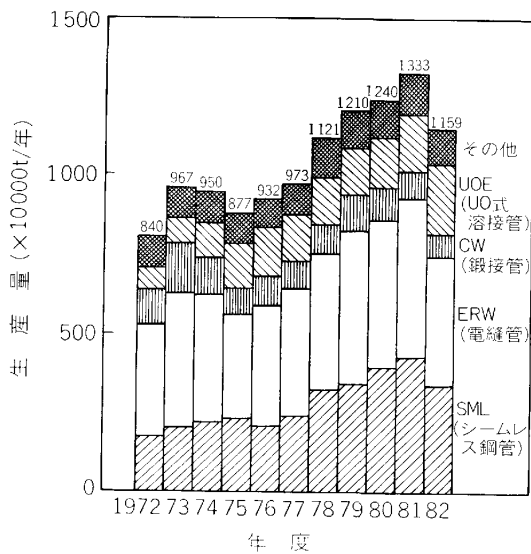


図 4.3.36 日本の鋼管製造法別生産量の推移

り、最近では自動磁気探傷機、渦流探傷機など一定水準で検査できる機器の使用が一般的になってきた。

需要家における自動切断機の導入、歩留りの向上対策などのため棒鋼の端部形状に対する要求も高まっている。このためハンドグラインダーを用いた人力による面取り作業に代わり、圧延ラインもしくはオフラインにおいて自動的に面取りを行う自動面取り機が普及した。

製造工程中もしくは需要家における異材混入防止のため、圧延された棒鋼の一部に打刻を実施しているが、最近では精整ライン中でレーザーを用いて管理 No. を刻印するレーザーマーキング装置も実用化されている。

4.3.6 継目無鋼管製造技術

(1) 概況

エネルギー産業と強いつながりを持つ継目無鋼管部門は、過去2回の石油危機に大きく影響を受けた。図 4.3.36 に国内の鋼管製造法別生産量の推移を示す。1970年代後半からのエネルギー産業の高度成長時には継目無鋼管の需要が急増し、継目無鋼管の品質および製造技術も併行して向上した。1980年代には表 4.3.4、表 4.3.5 に示すように、大型設備が相次いで新設され、新加工技術の導入およびコンピュータの全面的採用による自動化がおこなわれる一方、既存設備においても、設備改造およびコンピュータ化が進み、生産性と品質の向上が図ら

表 4.3.4 最近の大型継目無鋼管圧延設備 (小径ミル)

建設時期	1983年1月	1983年3月	1978年
会社名	住友金属工業	新日本製鉄	Vallourec
製品サイズ	25.4φ~114.3φ 2.5t~25.0t	60.3φ~193.7φ 3.0t~30.0t	21.3φ~139.7φ
ブ ロ セ ス	鋼片加熱炉 ↓ 交叉式ピアサー ↓ シェルサイザー ↓ リティンド マンドレルミル ↓ 再加熱炉 ↓ ストレッチ レデューサー ↓ 冷却床	鋼片加熱炉 ↓ プレスピアシ ングミル ↓ エロンゲーター ↓ ホロージュル レデューサー ↓ リティンド マンドレルミル ↓ 再加熱炉 ↓ ストレッチ レデューサー ↓ 冷却床	鋼片加熱炉 ↓ ピアサー ↓ リティンド マンドレルミル ↓ 再加熱炉 ↓ ストレッチ レデューサー ↓ 冷却床
加熱炉	回転炉床式炉	ウォーキング ビーム炉	ウォーキング ビーム炉

表 4.3.5 最近の大型継目無鋼管圧延設備 (大径ミル)

建設時期	1977年10月	1978年5月	1983年5月	1978年	1984年12月
会社名	新日本製鉄	川崎製鉄	日本鋼管	Dalmine	U.S. Steel
製品サイズ	165.2φ~406.4φ 5.5t~40.5t	177.8φ~406.4φ 5.0t~40.5t	114.3φ~244.5φ 4.0t~40.0t	159φ~273φ	88.9φ~244.5φ
ブ ロ セ ス	鋼片加熱炉 ↓ プレスピアシ ングミル ↓ No.1 エロンゲーター ↓ No.2 エロンゲーター ↓ ブラグミル ↓ リーラー ↓ 再加熱炉 ↓ サイザー ↓ 冷却床	鋼片加熱炉 ↓ ピアサー ↓ エロンゲーター ↓ ブラグミル ↓ リーラー ↓ 再加熱炉 ↓ サイザー ↓ 冷却床	鋼片加熱炉 ↓ ピアサー ↓ 3ロール エロ ンゲーター ↓ リティンド マンドレルミル ↓ サイザー ↓ 冷却床	鋼片加熱炉 ↓ ピレットサイザー ↓ プレスピアシ ングミル ↓ エロンゲーター ↓ リティンド マンドレルミル ↓ 再加熱炉 ↓ サイザー ↓ ストレッチ レデューサー ↓ 冷却床	鋼片加熱炉 ↓ プレスピアシ ングミル ↓ エロンゲーター ↓ リティンド マンドレルミル ↓ 再加熱炉 ↓ ストレッチレデューサー ↓ 冷却床
加熱炉	ウォーキング ビーム炉	回転炉床式炉	回転炉床式炉	回転炉床式炉	ウォーキング ビーム炉

表 4.3.6 継目無鋼管の品質

管種	使用条件及び要求性能	技術的対応策
油井用管	H ₂ S ガス雰囲気	○耐SSCC性 ○組織、機械的性質の均一化 (Cr-Mo鋼)
	CO ₂ ガス雰囲気	○高Cr鋼 (9Cr鋼) (13Cr鋼) ○二相ステンレス鋼
	CO ₂ /H ₂ S/Cl ⁻ 雰囲気	○高Ni、高Cr鋼 (20Cr-30Ni-6Mo 25Cr-50Ni-6Mo等)
メカニカルチューブ	高寸法精度	○外径精度、肉厚精度、内径精度向上及び偏肉向上等
	加工性良好	○切削性向上 ○清浄度の向上 ○塑性加工性の向上
ボイラーチューブ	熱伝導性向上	○異形管(内面ライフル等)
	高温強度大 高温酸化少	○高Cr鋼(9Cr-2Mo鋼) ○細粒化鋼(TP347H鋼) ○クロマイズド ○特殊ステンレス鋼 (25Cr-20Ni-Nb 17Cr-14Ni-Cu-Mo等)

表 4.3.7 1980年代開発品種例

製造法	開発例
マンネスマンプラグミル法	オーステナイト系ステンレス鋼 (18Cr-11Ni-0.3Co等)
	二相ステンレス鋼 (25Cr-7Ni-3Mo-0.3W等)
マンネスマンマンドレル法	フェライト系ステンレス鋼(13Cr等)
	快削鋼
	軸受鋼
押し出し法	高合金鋼
	密着二重管、内面ヒレ付管、外面ヒレ付管、一体フランジ鋼等の異型管
冷間引き抜き法	内面ライフル管等
エルハルト法	ステッキエルボー、特異形状品

れた。過去1年間省エネルギーの徹底により継目無鋼管の需要は減少したが、需要の多様化、高度化に対応する製造技術の確立(表4.3.6,表4.3.7)、自動化および無人化に関する設備改善は引き続き強力に進められている。

(2) 管材の製法動向

管材はインゴットを丸鋼片に分塊圧延して製造する方法が長く主流であったが、連続鍛造技術の進歩により、1980年代には管材は連続鍛造法を使用し、製造されている。現在管材の製法と製管法との組み合わせは表4.3.8に示すごとくであるが、これらプロセスの優劣はかならずしも定まっていないようである。

铸件には、凝固過程で生じる柱状組織とセンターポロシティが見られるが、後者はその分布と大きさによつては、鋼管の内部欠陥の原因と成り得るので、鍛込条件と

表 4.3.8 管材の製法と製管ミルとの組み合わせ

分類	従来	A	B	C
プロセス	造塊	大連電連鑄 フルーム鋼片	丸断面連続 ビレット	四角断面連続 フルーム鋼片
		丸鋼圧延 加熱炉 (ロータリー式 ウォーキング ビーム式)	加熱炉	加熱炉
		マンネスマン ピアサー エロンゲーター または、シムル サイザー プラグミル または、マンド レルミル		プレスピア シングミル エロンゲーター プラグミル または、マンド レルミル
採注会社		川崎製鉄 住友金属工業	Mannesman Vailourec 日本鋼管	Dalmine 新日本製鉄 U.S. Steel

冷却条件の選定には注意を払う必要がある。また一部には電磁攪拌の適用もおこなわれている。

センターポロシティを圧延過程で圧着させるため、①穿孔用プラグ形状を変更し、先端を鈍頭化する、②穿孔においてプラグの先進度をあげ、マンネスマン効果を低減させる、③交叉穿孔法を適用する、④プレスピアシング法を適用する等が有効と考えられる。

(3) 熱間圧延法の技術進歩

(a) 加熱炉設備

管材の加熱は回転炉床式加熱炉により主としておこなわれるが、最大のものは炉床中心径46mになつている。また燃料原単位はバーナー配列の最適化、断熱の強化、炉内温度の低下等により3×10⁵ kcal/tのレベルに達している。一部の工場ではウォーキングビーム式加熱炉も使われており、レイアウトの簡素化に役立っている。

(b) 穿孔技術の進歩

(i) プレスピアシング (PPM, PRP) 方式の実用化
CALMESによる基本構想の提唱後 PPM方式が実用設備として、1977年新日鉄、翌年Dalmineで稼働を開始

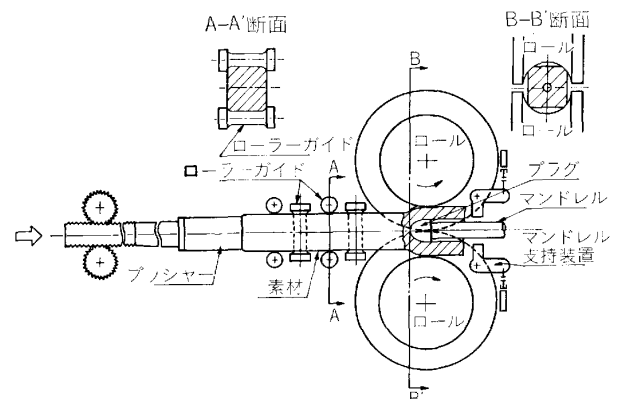
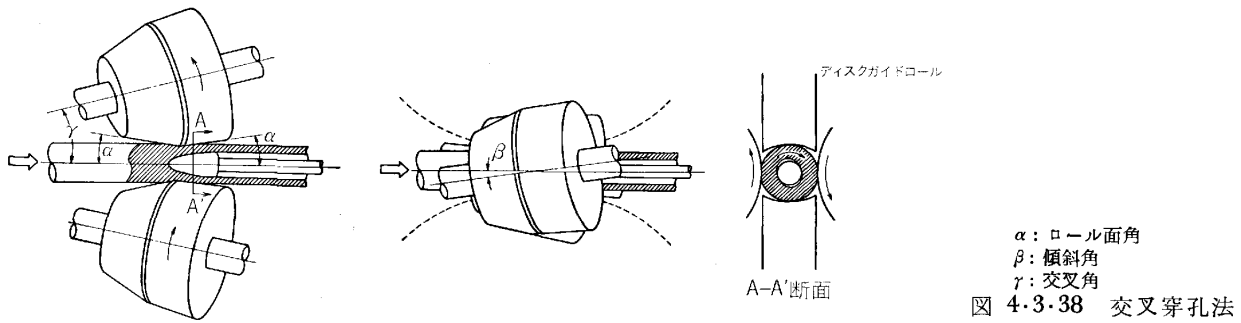


図 4.3.37 プレスピアシング法



し、継目無鋼管製造プロセスの重要な方式の一つとなつた。その後 1983 年にはメキシコ (Tamsa)、米国 (U. S. Steel)、新日鉄に相次いで本方式が導入された。図 4.3.37 に示すように、プレスピアシング法は角連铸鋼片を直接穿孔し、中空丸素管を製造する方法である。

(ii) 交叉穿孔法の開発

交叉穿孔法は 1983 年に操業開始した住金の 4¹/₂ インチφミルに導入された。本法の概念図を図 4.3.38 に示す。交叉穿孔法はマンネスマンピアシング法の持つ断面のメタルフローのねじれを減じ、押し出し法に近い変形を可能にしたもので、内面欠陥の減少、ステンレス鋼を含む難加工材の穿孔を可能にした等の成果をあげている。

(iii) その他新技術

(イ) ロール駆動方式の改善

直流電動機 (一部は周波数制御可変速度交流電動機) の採用とインディビデュアルドライブ (個別ロール駆動) 方式の採用により、噛み込みと戻抜け時の回転数制御がおこなわれ、穿孔の安定化に役立っている。

(ロ) ガイドシューの改善

従来プレート式からディスク式に変わってきている。ディスク式ガイドシューの採用により、ロール傾斜角は最大 20° まであげられ、穿孔速度の向上に役立っている (最大 1.5 m/s)。

(ハ) 穿孔プラグの交換方式の改善

プラグと芯金を結合させ、芯金ごとプラグを交換するバーサーキュレーション方式が実用化されている。

(ニ) ピアサーの最適制御技術の開発

経験と勘にたよりがちであつた穿孔条件の設定をコンピュータによる数値制御で、内面欠陥の発生率の低減と寸法精度の向上に成果をあげている。

(c) シェルサイザーの導入

マンデルミル方式ではマンデルミル圧延外径に応じて管材の外径を変えているが、これを 1 サイズに統一し、穿孔後の素管をシェルサイザーで縮径し、マンデルミルに供するためにシェルサイザーが使われるようになってきている。

(d) 偏肉矯正機の導入

穿孔材の偏肉矯正にピアサーとプラグミルとの間に配されるエロンゲーターが有効であるが、最近になり、ピアサーとマンデルミルとの間にも 3 ロールエロンゲーターあるいは空もみ主体の 3 ロールエコライザーが導入され、偏肉のいつそうの改善に効果をあげている。

(e) マンドレルミル圧延法の進歩

(i) マンドレルミルの大型化とリティンドマンデル方式の導入

1960 年代に登場したマンデルミルは製品外径 5¹/₂ インチφ以下の小径継目無鋼管の製造においては、生産性と品質からプラグミルにとつてかわつた。製品外径 6⁵/₈ インチφをこえるマンデルミルはマンデルバーが大きくなりすぎ存在しなかつたが、1983 年になり、国内の 2 基、ドイツの 1 基が改造され、製品外径 7 インチφまで圧延可能となつた。

一方圧延中にマンデルバーを拘束するリティンドマンデル方式ではマンデルバーの長さが短尺化し、マンデルミルの大型化が可能になつた。図 4.3.39 にリティンドマンデルミル方式の模式図を示す。

リティンドマンデルミル方式では圧延管とマンデルバーとの相対速度差が従来より大きいので、マンデルバーの潤滑剤性能の向上が必要となり、最近では水溶性黒鉛固着型潤滑剤が開発され、マンデルバー表面への付着量 (g/m²) の制御ができるようになってきている。

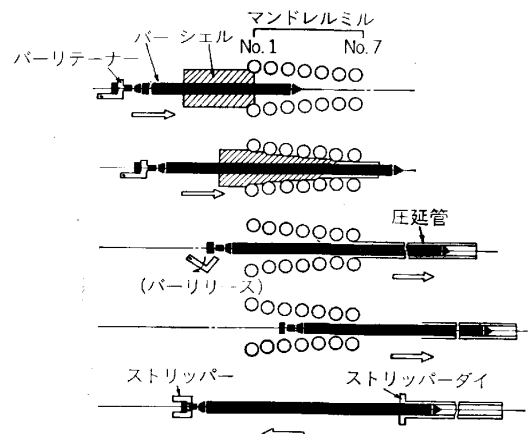


図 4.3.39 リティンドマンデルミル圧延の模式図 (セミフロント式)

リティンドマンドレル圧延方式では圧延過程においてバー速度の変動により発生する非定常部がなくなるため、寸法精度が従来のフルフロートマンドレル圧延方式に比し、大幅に改善されている。

リティンドマンドレルミル方式はセミフロート式とリトラクト式の二種類がある。前者は小径ミルに適用されており、圧延終了後マンドレルバーを圧延管内に残したまま圧延機を通過させ、別ラインでバーを引き抜く方法であり、後者は圧延終了後もバー拘束し、圧延機出口に配したエキストラクティングミルで管を引き抜き、その後バーを後退させるもので大径ミルに適用されている。

(ii) その他の新技術

(イ) ロール圧下制御

マンドレルバーの外径の実測値と材料温度の予測値に対応して電動圧下制御をおこない、長手方向の肉厚分布の均一化を図っている。

(ロ) フルフロートマンドレルミルのストマック制御

噛み込みと戻抜け時の過渡状態において、マンドレルバーの速度変化が生じ、スタンド間張力の変動により圧延管両端の外径と肉厚が増大するストマック現象を軽減するため、過渡状態での塑性解析をおこない、この結果に従いロール回転数を制御するシステムが開発されている。図 4.3.40 に本制御の効果を示す。

(ハ) マンドレルミルにおける油圧圧下制御

ストレッチレデューサー圧延での管端増肉現象により生じるクロップロスを減少させるため、母管の両管端肉厚をマンドレルミルロールの油圧圧下制御で薄肉化しておく方式が考案され、実機テストが進められており、今後の発展が期待される。

(フ) プラグミル圧延法の進歩

プラグミルでは通常 2 パス圧延で直角 2 方向の肉厚圧

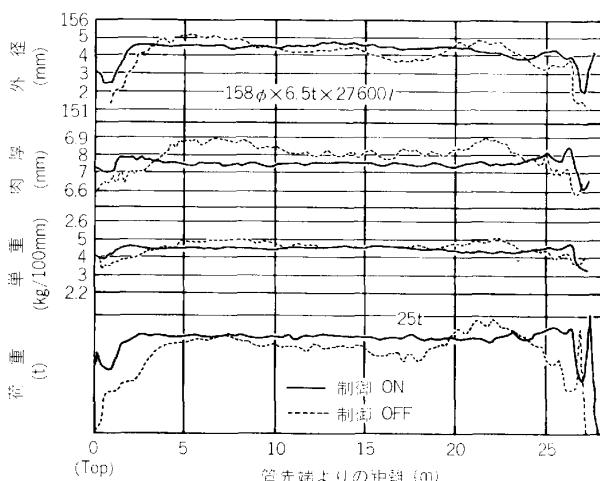


図 4.3.40 マンドレルミル圧延における肉厚制御の効果

下をおこなうが、素管の長手方向温度分布と寸法分布の不均一、1パス目と2パス目の温度変化と圧延中のプラグおよびプラグバーの昇温による寸法変化などが影響し、長手方向の肉厚分布は満足すべきものでなかつたが、温度モデル、圧延負荷モデルなどの開発とそれを用いた圧延制御技術により寸法精度が著しく向上している。

(g) ストレッチレデューサー圧延の進歩

1970年代に塑性理論解析が完成の域に達し、管端部増肉現象軽減のための制御およびビレットを含む上工程の諸変動を消して所定の圧延長または肉厚に圧延する延伸制御が実用されるようになった。

(h) コンピュータの利用拡大

過去数年間に新設された設備は各種コンピュータを全面的に採用している。データ処理の高速化、生産指示の迅速化、寸法精度の向上、自動化等に効果をあげている。

(i) 工具の改善

穿孔用ピアサープラグは高温の鋼と直接接触し、著しく損耗するが、プラグを連続潤滑することは困難であるので、プラグ表面のスケールを酸素富化等の特殊熱処理により、より厚くまた密着性の高いものとし、その断熱効果と高温潤滑性により寿命を従来比 10 倍以上に向上させる技術が開発されている。

(4) その他の加工法の進歩

(a) 熱間加工法

(i) ユジーンセジュールネ押し出し法

最近特に開発が進められているのは完全密着二重管の製造である。密着度の向上のため接着面を Ni プレイティングするなどのくふうがなされており、その製品は原子力発電設備用等各種用途に使用されている。その他一体底付き管、一体フランジ付き管の製造もおこなわれている。

(ii) エルハルトプッシュベンチ法

エルボー付鋼管等各種新製品が開発されている。またビルガーマイルに対抗すべく約 12m までの長尺圧延技術も開発されている。

(iii) 潤滑剤と工具の改善

潤滑剤はガラスと黒鉛が主体であるが、材質によっては侵炭あるいは侵ボロンの問題があり、性能改善が待たれている。

工具については O_2 の低下による耐ヒートクラック性の改善、マルエージング鋼の採用、熔接肉盛技術の応用等技術改善が種々進められている。

(b) 冷間加工法

コールドピルガー法と冷間引き抜き法が主流であるがこの分野でも製品の多様化に対し、さまざまな技術的取り組みがおこなわれている。

(i) 冷間引き抜き材

シリンダー用鋼管として、引き抜き後ホーニング加工し、製品とする方法が採用されるようになり、内径寸法精度の向上のため、石けん系潤滑剤にかわり油脂系潤滑剤が使用されるようになっており、表面精度も 1 s 以下のものが得られるようになってきている。

(ii) ステンレス鋼の冷間引き抜き材

油井用鋼管として、二相ステンレス、高合金ステンレスを冷間加工により強度をあげて使用するケースが増加しているが、この種材料の冷間引き抜き潤滑剤としては蔭酸皮膜をベースに油脂系の潤滑剤を組み合わせたものが開発されている。

高合金鋼の高加工度引き抜きに潤滑油と被加工材を 1000 atm を越える高圧チャンパーに閉じ込めて冷間引き抜きする方法も研究されている。

(iii) 異形管の引き抜き

内面ライフルチューブはボイラーの重要部品となっており、その製造は冷間引き抜きでおこなわれている。

(5) 精整関係の技術進歩

最近の技術進歩はおおむね以下の 3 点に要約できる。

- ①非破壊検査設備の導入増加と性能向上
- ②熱処理技術の進歩
- ③精整設備のオンライン化、各設備の高性能化

(a) 検査設備の進歩

継目無鋼管においては有害疵が内外面及び肉厚内部に無いこと、寸法が全長にわたって公差内にあること、強度あるいは硬さが規格内にあること等を保証する必要がある。1970 年代後半までの検査法の主流は肉眼検査と限界ゲージによる寸法検査であつた。1980 年代に入り欧米を中心に各種の疵検査設備が開発実用化され、国内にも広く導入されるようになった。外径と肉厚検査には高速超音波方式が多く用いられており、内外面の疵検査には各種の機器が組み合わされて使用されている。これはすべての疵を検出する方法がまだ確立しておらず、各方式の性能と特徴を活かす必要があるためである。

(i) 特殊形状品の検査

ひれ付き管、内面ライフル管、密着二重管等の特殊製品の検査には超音波検査を活用した独特の方式が開発され活用されている。

(ii) 特殊検査法

油井用鋼管の管端にはさまざまなネジが切られるが、このネジ要素（スタンドオフ、リード、ネジ高さ等）を無人検査する機器が最近開発され、実生産ラインに設置されている。

また強度検査には、引張強度により磁化性能が異なる性質を利用し、テストピースとの対比を非破壊でおこな

い、強度推定をする方法が開発されているが、精度が満足すべき状態になく、今後の改善も望まれている。

(b) 熱処理技術の進歩

高強度油井用鋼管の製造において、焼入れ-焼もどし熱処理が採用される。この分野での技術進歩として、第一は低周波誘導加熱式焼入れ-焼もどし炉の採用がある。これは従来のウォーキングビーム式ガス燃焼炉にかわるもので、設備スペースの節減に大きな効果をあげている。第二は直接焼入技術の実用化である。表 4.3.5 に示した国内三社の新圧延設備にはそれぞれ特長ある直接焼入設備が導入され、投資金額の節減と省エネルギーに大きな効果をあげている。この技術は圧延ラインの最終ミルであるサイザーの仕上温度を AC₃ 変態点以上に保持し、圧延終了直後水焼入れするもので、焼もどしはその後従来方式でおこなわれる。

(c) ストレートナーのコンピュータセットアップ

ストレートナーのクラッシュ量及びオフセット量を理論式をベースに計算し、自動セットアップする方法が開発され、段取替時間の短縮、真円度と真直度の向上等に効果をあげている。

(d) 管端アップセッター

主として油井用鋼管の一部において、継手強度の向上のため管端を増肉する熱間アップセッティングがおこなわれるが、この加工のためのメカニカル式鍛造機は最大 10³/₄ インチφ の鋼管をとり扱える大型のものが導入されるようになった。しかしこの加工法に関する理論解析はほとんど進んでおらず、また他設備との連続化も少ない。加工技術、設備技術の今後の発展が待望されている。

(e) ステンシルの自動化

従来型板を使用した手動ステンシル法が主流であつたが、ここ数年の間静電塗装の技術を応用した自動ステンシル法が実用化された。

(f) 防錆塗装技術の改善

長くアマニ油のスプレー塗装が主流であつたが、乾燥時間が長く、落下する油で作業場が汚れる等の問題があつた。最近防錆能力のある特殊塗料を紫外線を用いて瞬時に塗装-乾燥させるシステムが実用化され、レイアウト、職場環境ならびに塗装品質の改善に大きな成果をあげている。

(6) 今後の展望

製品外径 9⁵/₈ インチφ 以下用のミルは穿孔方式にさまざまな方式があるものの、マンドレルミル圧延がほぼ主流として定着したと考えられる。一方製品外径 16 インチφまでの大径ミルが現在のプラグミル方式のまま推移するのか、マンドレルミルが大形化するのか、新たなプロセスが案出されるのか、いずれも定説が固まつてい

ない。しかしプラグミルはそれなりに使いやすさがあるので、プラグやガイドシュエなどの工具寿命と潤滑剤の性能がいつそう向上すれば依然主流の一つを占めるであろう。この工具と潤滑剤の性能向上はマンドレルミル、押し出し、エルハトプッシュベンチ、アップセッティング等熱間加工すべてに共通した大きな技術課題である。

4.3.7 溶接鋼管製造技術

(1) 電縫鋼管製造技術

電縫鋼管は各種鋼管製造法の進歩の中で注目すべき進歩があつた分野である。元來電縫鋼管は他製法に対し小～中径薄肉管において有利な製法であるが、電縫溶接部の信頼性に対しユーザーの根強い不信感があつた。高周波溶接の採用により著しく溶接品質が改善されたが、その技術や操業は未開拓分野が多く、溶接部信頼性は潜弧溶接に比べ劣るところがあり、その特色が十分生かされていなかった。

最近の進歩は、電縫溶接技術の研究開発に力がそそがれ、同時に素材の改善開発（鋼の清浄化、熱間圧延における制御冷却など）、品質保証技術の改善などにより、溶接品質が大幅に向上し、電縫鋼管の用途が拡大高級化する一方、薄肉成形限界の拡大（低肉厚/直径 (T/D) 化）、厚肉化（高 T/D 化）、外径拡大など加わり、コスト優位性を背景に継目無管や潜弧溶接管分野に進出してきたことにある。いわば高周波溶接管における新世代が築かれつつあるといえよう。

(a) 成形技術

高強度中径薄肉ラインパイプなどの需要増加に対応しケージロール成形法が採用された。また薄肉管成形におけるエッジバックリング防止のためのダウンヒル成形、厚肉管のエッジ増肉防止のための多段フィンパス方式などが同時に導入された。

ケージロール成形法は図 4.3.41 に示すように、孔形ロールは採用せず、フープ進行方向の外側側にケージロールを多数設置し、内面側におさえロールをおき、それ

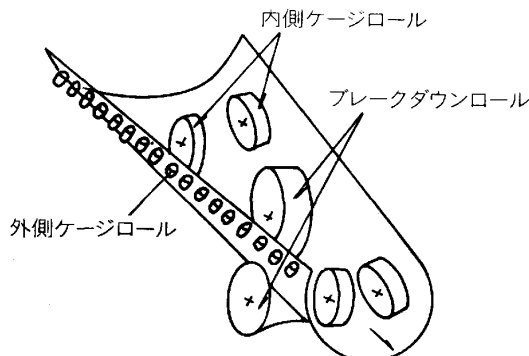


図 4.3.41 ケージロール成形 (川崎製鉄技報, 11 (1979), p. 455)

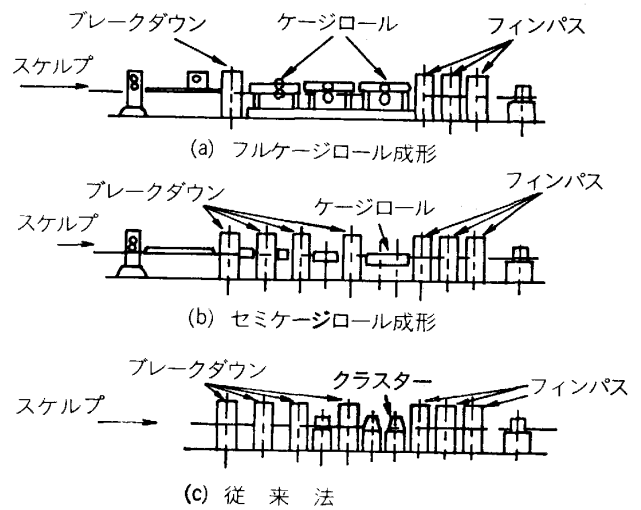


図 4.3.42 フルケージロール成形, セミケージロール成形, 従来成形法の比較 (川崎製鉄技報, 11 (1979), p. 453)

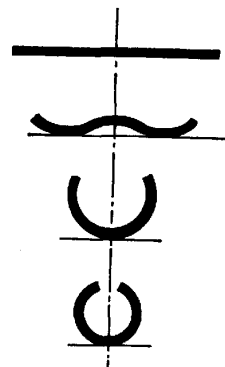


図 4.3.43 Wベンド成形

らの位置調整により、成形中におけるフープ各位置での変形を均一化する。特にエッジの伸びが少なくバックリングが発生しにくい。これにより 26 インチ径 T/D 1% といった薄肉管の成形が可能となつた。

ケージロール成形方式には、フルケージロール成形法とセミケージロール成形法がある (図 4.3.42 参照)。フルケージロール方式は厚肉管のエッジ曲げに難点あり、エッジ成形スタンドをケージロールの前におき解決した。一方セミケージロール方式は前段のブレークダウンにWベンド方式を採用した (図 4.3.43)。この場合初段ロールでエッジ曲げを行うので厚肉成形に対処できると同時に、圧延方向歪みのエッジとセンタ間の差が減少し、薄肉バックリング抑止にも有効である。この場合ケージロールの役目はブレークダウンとフィンパス間のバックリングを防止するためである。

小径管の高 T/D (2 インチ径クラスで 20~25%) 成形は従来のステップ成形に代わり、Wベンド成形が採用されつつある。

一方成形スタンドのカセット化による組替時間の短縮

を実施したミルがある。

(b) 溶接技術

溶接技術向上と大容量ウェルダの導入により高速溶接が可能となつた (小径: 最大約 200 m/min, 内削なし, 中径: 最大約 70 m/min, 内削あり)

溶接現象の解明, 溶接計装技術開発が行われ, 溶接温度, 板厚, 速度, 周波数変動, アップセット量などの測定により電流電圧を制御する, 入熱自動制御システムが実用化されたことは特筆すべきである。

溶接時の酸化防止のための雰囲気溶接技術が実用化し, 低合金鋼, ステンレス鋼などに適用されている。

中周波溶接を厚肉管製造に適用しているミルがある。高効率化のためのインピーダの研究が進み, 珪素鋼インピーダが開発された。

内削技術の改善が行われ, 速度・能率, 非破壊検査精度などが向上した。

(c) ポストアニール技術

肉厚方向温度差の減少, 加熱パターン適正化, シームならい改善が進んだ。ポストアニール後に水冷を行う溶接部熱処理技術が開発された。

(d) 品質保証技術 品種・サイズ拡大

溶接部非破壊検査は, 溶接部両側からの斜角探傷, 探傷角度最適化, マルチチャンネル化, シームならい自動化などの採用により著しく強化された。管端不感帯検査自動化が新ミル中心に進みつつある。冷接検出については依然研究段階である。外径, 真円度, 板厚測定の自動化が一部で採用された。また計算機システムによる品質保証体制の整備がようやく進みつつある。

寒冷地用, サワガス用ラインパイプ, X70 ラインパイプ, 寒冷地用ケーシングなどが製品化され, 大量出荷されるようになった。外径は 20 インチ→26 インチ, 板厚は 0.5 インチ→0.75 インチ, T/D 下限 1.5%→1.0% と拡大された。大型ボイラ火炉などへの電縫ボイラチューブ採用が進み, 炭素鋼から低合金鋼へ, 更にライフルチューブなど分野が広がりつつある。電縫溶接部選択腐食を防止した耐溝食電縫管が開発され市場に登場した。

連铸化比率の拡大 (ミル平均 10% 以下→90% 以上), 清浄化, 高強度・高靱性化など素材技術が著しく進んだ。

(2) 鍛接鋼管技術

エネルギー消費型の鍛接鋼管は石油危機以後コスト競争力が低下し, そのためエネルギー原単位低減に多大の努力が払われた。この結果, ミル平均で 742000 kcal/t (昭和 48 年上期) から 446000 kcal/t (昭和 58 年上期) とここ 10 年間で 40% 減少した。

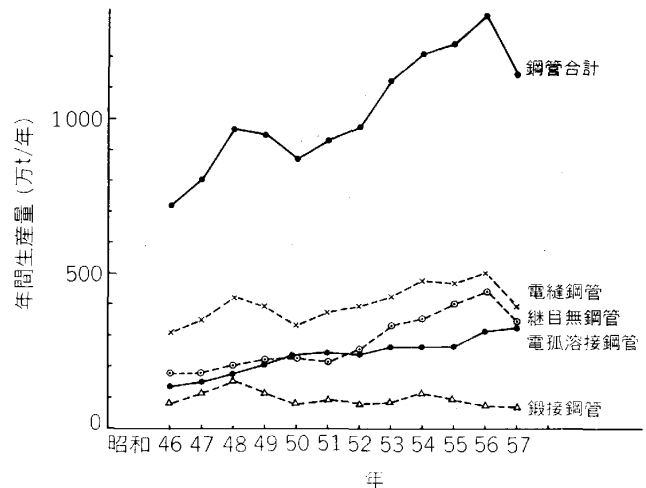


図 4.3.44 わが国における鋼管生産量の推移 (日本鉄鋼連盟: 統計部資料)

この省エネルギー化は, 加熱炉設備・操業改善による熱損失の減少や, 低温製管法の採用による。

低温製管法は, スケルプの加熱温度を 1200°C (従来は 1300°C) とし, 加熱炉出口において高周波誘導加熱によりエッジ局部加熱を行い 1300°C に昇温後直ちに鍛接する方法である。鍛接後シーム部急速冷却を行い, シーム部偏肉, 座屈を防止している。

素材の連铸化は, ネジ切り性, Zn めつき性を改善しつつ進められ, 昭和 48 年の適用比率 0% が, 58 年にはミル平均 98.6% となつた。

(3) サブマージドアーク溶接鋼管技術

大径溶接鋼管の用途は, 石油天然ガスなどの流体を輸送するラインパイプと, 鋼管杭及び鋼管矢板で代表される土木建築用鋼管が主流をしめる。この分野でのサブマージドアーク溶接鋼管の進歩はめざましく, 生産量は図 4.3.44 に示すごとく昭和 57 年まで拡大の一途をたどっている。日本における粗鋼生産量のピークが昭和 49 年, 鋼管生産量のピークが昭和 56 年で, その後大幅な減少を示しているのに比べると, サブマージドアーク溶接鋼管の健闘が目立つ。質的にも昭和 45 年のトランス・アラスカ・パイプラインに日本鉄鋼メーカーより総量 50 万 t の鋼管を輸出して以来, 世界のラインパイプの発展に大きく貢献している。特に次の 2 分野への寄与が大きい。一つは寒冷地向高強度高靱性ラインパイプの開発であり, 他の一つは耐食性ラインパイプの開発である。以下その 2 点を中心にこの 10 年間の進歩について略述する。

(a) ストレートシーム溶接鋼管製造技術の進歩

(i) 厚肉高強度化への成形技術の向上

昭和 35 年に UOE 鋼管製造設備が日本に初めて導入されて以来の製造可能管厚の拡大はめざましく当初の 3 倍に達する。昭和 45 年から 49 年の間に国内では 4 新

鋭ミルが稼動し飛躍的に製造可能範囲が拡大した。50年以降外国で2ミルが新しく稼動し、わが国では1ミルが大改造を実施している。この10年間の厚肉高強度化では次の特徴を有す。第1はいつそうのプレス力の増大化であり第2は成形過程の解析が進み、厚肉鋼管の製造範囲の拡大及び品質向上に寄与している点である。特にCプレス、Uプレスの成形条件がOプレス後の形状に与える影響の研究がなされ、その結果当初の設備仕様をはるかにこえる高強度厚肉管成形技術を確立した。第3はパイプQT技術の確立による高強度厚肉管製造技術の確立である。

(ii) 溶接技術の進歩

大径溶接管の進歩は、溶接技術のそれを除いてはありえない。苛酷化する環境条件からのニーズとともにメーカー側のコスト低減、生産性向上の観点からもめざましい進歩が達成されている。第1は3電極及び4電極溶接の採用による生産性の向上である。各電極間のアークの相互干渉よりみた結線方式、各電極の電流比、極間距離及びそれぞれの電極の持つ機能役割などが研究解明され、その結果4電極溶接では3電極に比し30%の増速が達成されている。第2は溶接部の低温靱性の進歩である。寒冷地における低温靱性要求値の苛酷化は、溶接材料の進歩を促した。詳しくは4.4項に述べられているとおりであるが、その開発方向は、組織の細粒化、介在物の低減、組織の調整などである。高塩基度フラックスによるO量の低減、Ti、Bの添加及びN量の低減が靱性向上に効果のあることが確認されており、現在使用温度 -30°C から -45°C 程度までの靱性レベルに対応可能である。

(b) スパイラル溶接鋼管製造技術の進歩

スパイラル鋼管製造上の問題点として成形技術の安定化がある。この点で次の二つのアプローチがなされている。一つはトリム後のキャンパーを防止するためのコイルウォーク防止装置を開発し素材コイルのキャンパーの影響を排除しようとするものであり、一つは外周長及び溶接ギャップを自動測定しオフセット付与及びスイベルフレームの自動制御により成形品質の安定化を図ろうとするものでありこれらはすでに設備化されている。また残留応力コントロール及び溶接速度の高速化の面でも大きな進歩がなされている。

(c) 素材の進歩

ラインパイプに要求される性能の苛酷化は、進歩の源泉でもあつた。それは鋼管製造と同時に素材製造上の進歩も促した。

(i) 高強度高靱性化及び現地溶接性

寒冷地ラインパイプの高圧操業へのニーズは、素材の

高強度化と同時に不安定延性破壊の問題を誘起しバッチル研究所、BGC、あるいは鉄鋼協会HLP委員会などが実管での破壊試験を実施した。この問題は帰するところ高強度と高延性高靱性を同時に具備することでありその解決は素材の進歩に負うところが大きい。製鋼段階では脱硫技術、真空脱ガス技術、介在物形状制御技術が中心であり、新取鋼精錬法によれば $S \leq 10 \text{ ppm}$ の超低硫鋼も安定して溶製できるようになっている。また連铸化比率もすでに100%に達している。一方圧延技術では、制御圧延(CR)技術の進歩に負うところが大きい。CRは基本的には細粒組織を得ることにより強度と靱性を同時に向上させるものであるが、その延長上に制御冷却技術があり、今後その発展が期待される。

現地溶接性の観点より炭素を極低レベル($C \leq 0.03\%$)に抑え、同時に強度の低下を、鋼の組織をペーナイト組織にすることにより補償しようとする研究が進められた。その結果「微量Nb-Bの相乗効果による焼入性の著しい向上」という新しい知見が見出され極低炭素ペーナイト高張力鋼管が開発された。これは高強度であると同時に現地溶接性の向上が達成されるものとして注目されている。

(ii) 耐水素誘起破壊(HIC)

昭和47年アラビア湾の海底ラインパイプで生じた、 H_2S 含有油による事故を契機としてHIC研究が急速に発展した。HIC防止対策として次の技術が開発されている。第1は、発生の起点となる介在物の減少及びその形状制御であり、Sの減少($S \leq 0.05\%$)及びCaの添加が実施されている。第2は、低温変態生成組織の発生を防止するための偏析を低減することが有効であり、第3に熱処理により偏析部の低温変態組織の軟化を図ることが、第4に $\text{pH} > 4$ ではCuの添加($\text{Cu} \geq 0.25\%$)が、HIC低減に効果のあることが確認されている。

(d) 今後の発展方向

今後のラインパイプに要求される性能は、寒冷地におけるいつそうの高強度高靱性化と H_2S 、 CO_2 、 Cl^- などの環境に耐える耐食性である。このニーズを背景にコスト低減への努力が加わって今後次の方向に発展してゆくものと考えられる。第1は高強度高靱性化である。X80はまだAPIに規格化されていないが、すでにX80に相当する鋼管は製造されている。X80~X100でかつ低温靱性の向上という命題に向けてのいつそうの努力がなされよう。第2は耐食性への対応である。耐HIC鋼はすでに大きな進歩をみているが、さらに、偏析の低減、耐HIC感受性の低い組織へのアプローチ及びそれらのコストダウン、実環境に見合った適切簡便な試験方法の開発などが追求されよう。第3は品種及びプロセスの多様

化である。使用環境の苛酷化は、下記分野での少量多品種化をもたらそう。①オーステナイト系、フェライト系及び二相系ステンレスなど高合金鋼管分野 ② Tension Leg Platform を中心とする海洋構造物分野 ③低温で使用されるベンド管分野 ④高合金あるいは非鉄を含むクラッド鋼管分野など。これらにともない溶接方法及びパイプ熱処理方法などプロセスの多様化が進もう。

4.3.8 特殊圧延技術

(1) 特殊圧延の自動化

特殊圧延、たとえばリング圧延は、その変形過程が非対称で非定常のため、圧延機構の理論解析や圧延作業の自動化がむずかしく、作業者の技能に頼ることが多かったが、この分野にも自動化が進んできている。

図 4.3.45 に見られるごとく、2 個のガイドロールに加えらるる面圧を検知し、圧力差をなくすように、アキシアルロールの回転数を増減させ、キングロールとアキシアルロール双方での圧延部の周速を一致させ、同時に、圧延中、アキシアルロールの軸芯が、常に素材の中心線に向くように、アキシアルロールにおける圧延位置をコントロールしている。また圧延圧下力についてもコンピュータによるプログラムコントロールができるようになり、簡単な断面形状のリング圧延では、無人運転が可能になっている。圧延時の各ロールの周速と圧下力をコントロールした最適条件の圧延は、製品の寸法精度を向上させ、ロールの摩耗の減少にも役立つている。

(2) 最近の特殊圧延技術

(a) 多能化された特殊圧延

最近、リング状の圧延とディスク状の圧延とを組み合わせ、圧延機の多能化が図られている。これは図 4.3.46

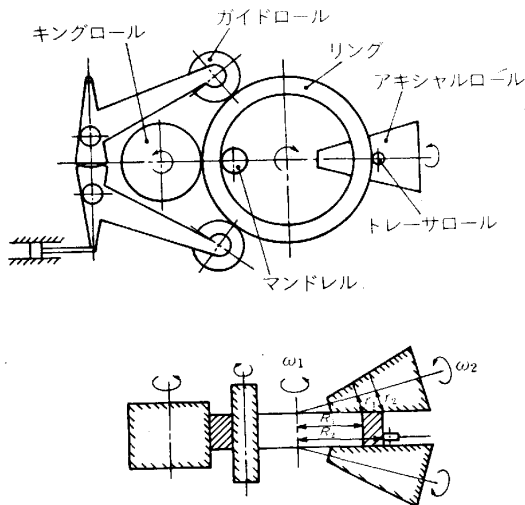


図 4.3.45 リング圧延 (M. NISHIGUCHI et al.: 3rd International conference on Rotary Metalworking Process, "Analysis of Simulation in Ring Rolling")

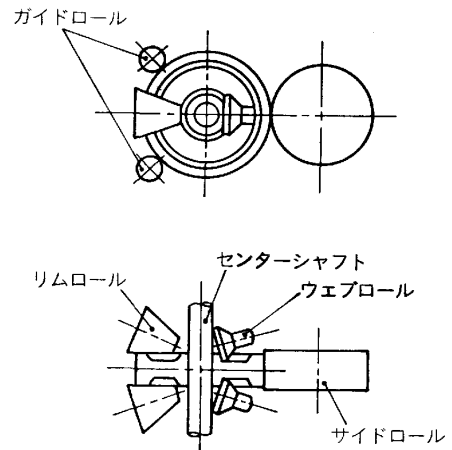


図 4.3.46 多能化された特殊圧延 (FMC における素材加工技術: 精密機械, 49 (1983) 8, p. 22)

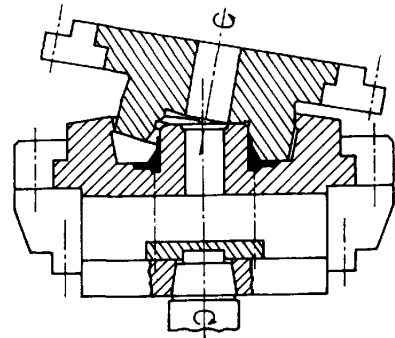


図 4.3.47 回転鍛造式特殊圧延 (Forging Industry Association's FORMING EQUIPMENT SYMPO.: Closeddie Axial Rolling—A Progress Report (1982) June)

に示すごとく従来のリング圧延機にウェブロールを取付け、リング状素材はもちろん、ディスク状素材まで、各種形状の素材を歩留りよく圧延することができるので、プレス、ハンマーでの加工のように、品種ごとに金型を作る必要もなく、多品種少量生産に適している。

(b) 回転鍛造式特殊圧延

ディスク状のものや複雑な断面形状のリング製品を製作する方法として、回転鍛造式特殊圧延が注目を集めている。これは図 4.3.47 に示すごとく、1 対の回転金型により、素材に局部圧下を繰り返して成形するもので、従来の全面圧下の鍛造方法に比べて、加工に要する力を 1/10~1/20 に小さくできるので、小さな出力で比較的大きな製品の加工が可能である。現在西独で最大外径 φ1000, 最大重量 250 kg のディスクが鍛造できる容量 400 t のものが実用化されており、今後とも注目を呼ぶものと思われる。

4.3.9 熱間鍛造技術

(1) 自由鍛造の生産および設備

昭和 40 年代は日本の産業各分野の発展による諸設備

の更新、増設がさかんで鍛鋼品は大型化と急激な需要増があり、生産能力に不足をきたした。これに対応するために大型設備を含む鍛鋼生産諸設備の更新が活発に行われた。しかし鍛鋼生産量は昭和 48 年の約 80 万 t をピークに減少をはじめ昭和 50 年代にはいと、54 年から 56 年の一時期 70 万 t 代にもどしはしたが 50 万 t 代を低迷して昭和 59 年に至っている。したがって生産能力的には十分であり、最近 10 年間の設備の目立つた動きは神鋼高砂の 8000 t プレス (昭和 51 年) と川鉄水島の特種 4400 t プレス (昭和 57 年) くらいである。

鍛鋼品の製造は製品ごとに採られる方法の組み合わせがさまざまに複雑でありかつ常に多種少量生産の形態を強いられているため、設備は汎用的でありまた自動化の遅れた分野であったが、設備の動向は昭和 40 年代の量への対応から昭和 50 年代は鍛造機能の特殊化や効率化へと変化しつつあるといえる。前述の 4400 t プレスも大型リング材と極厚鋼板の鍛造を対象とした特殊構造のプレスである。中小型のプレスにおいてはプレスとマニプレーターの連動運転は一般的となり、次のステップといわれたプログラム制御が実用化され、さらにティーチインプレイバック (teach in play back) 方式さえ採用されはじめている。また高速化のために既設設備の制御システムの改造なども行われている。

(2) 自由鍛造技術

スケールメリットの追求や安全性、信頼性の向上を目的とした一体化などによる鍛鋼品に対する大型化の要求は依然として強い。

代表的な大型鍛鋼品としては原子力用圧力容器、火力・原子力発電用のタービン軸や発電機、厚板圧延用補強ロールなどがあげられる。いずれも設備容量の増大による鍛鋼品の大型化が進められたがさらに鍛鋼リング材の溶接組立てにより製造される圧力容器においては溶接線を減らすためのリング材の一体化や長尺化が、また発電用の低圧タービン軸は焼ばめられたディスクの応力腐食割れの解決のためにディスクとロータの一体化などが要求されている。

リング材の大型化に対する新しい方法としては前述の 4400 t プレスや既設プレスを駆動源とする機外鍛造装置 (特許出願公告 昭 55・11416) が、いずれもこれらの装置による鍛造技術とともに開発されている。

このような大型化に対応するためには当然鋼塊の大型化が進められ、昭和 55 年には 570 t 鋼塊が出現し、また、400 t 以上の鋼塊製造能力を有するところは国内でも 3 社を数えるに至った。このことは製鋼・造塊技術の進歩により可能となったもので鋼塊の健全性も向上した。しかしそれでも鋼塊に内在する空隙欠陥は不可避で

あり、さらに鋼塊が大型になるほどその圧着は至難である。

空隙圧着技術としては表面冷却特殊鍛錬法 (JIS) がすでに開発されていたが、各社ともさらに鍛錬効果の解析と実験を行い、上下非対称金敷を使用する方法 (Free from Mannesmann effect, FM) や上下幅広 V 金敷を使用する方法が空隙圧着法として大型鍛鋼品の鍛錬に採用されている。このような技術開発の結果、低圧タービン軸における胴径 2600 mm にも及ぶ大型の内部まで健全な高品質鍛鋼品の製造が可能となった。

一方、大型化への対応以外でも鍛造における原価低減を目的とした鍛造技術の改善、開発が活発に行われ、歩留り向上、鍛造工程の短縮、燃料原単位の向上などで著しい成果があげられた。また、自由鍛造における仕上がりが工程での型入れ手段の採用もその適用範囲が拡大され成形精度の向上に成果をあげている。その方法の一つであるポーランドの T. Rut により開発された一体クランク軸の鍛造法は 8000 t プレス用をはじめ導入件数が多く、さらに新しく開発された半組立て軸用クランクローの鍛造法も最近日本に導入されている。

(3) 型鍛造技術

型鍛造業は最近著しい進歩をとげた他の加工法との競合を強いられ、生産量は昭和 55 年をピークに減少し、現在需要は低迷している。

型鍛造は材料費、製造費、金型費が製品の原価を構成する大きな要素となつている。焼減り減少のための誘導加熱の採用、抜勾配およびフラッシュ減少などによる材料費低減、機械化、自動化、荒地工程の簡略化などによる製造費低減、NC 加工、鋳造型の採用などによる金型費低減の改善努力は昭和 40 年代に引き続き継続されている。最近 CAD/CAM の進歩は著しく金型の設計、製造に利用できるソフトウェアも開発され、金型の加工コストの引き下げと型鍛造製品の設計から試作まで工期短縮の上で期待されている。3次元 CAD/CAM システムのソフトウェアの多様化と低価格化が鍵となる。

成形技術的には現在なおプレスによるバリ出し鍛造が主流であるが、無フラッシュ、無抜勾配密閉型鍛造は著しく向上している。誘導加熱や、回転鍛造あるいは粉末荒地のような精密荒地の採用により、歯車など熱間鍛造品でありながら寸法精度、表面肌の優れた、仕上加工なしで使用しうるものが作られている。

4.3.10 冷間鍛造技術

冷間鍛造は 1960 年代後半から 70 年代前半にかけて適用領域がより拡大され、機械部品全般に浸透し量産体制化が積極的に進められ生産方式の体系化もほぼ整備さ

れた。

1970 年代後半から現在に至る 10 年間にこの分野においてさらにいくつかの変化が起こった。まず、74 年の石油ショックを契機として省エネルギー、コストダウン指向が強まり、材料節約、加工費低減を目的としてより大型の部品、たとえば熱間鍛造品の冷間鍛造化などがより進むとともに、一部の部品では温間鍛造化が進み実用化が始まった。鍛造用材料の面においても製鋼、圧延技術の進歩に対応して部品製造のコストダウンを可能にする工程省略材が出現し実用化されはじめた。

(1) 鍛造加工技術の動向

70 年代後半までは冷間鍛造の導入が、省エネルギー指向を背景とした材料節約、加工費低減の目的でなされる傾向にあつた。その後、自動化、高速化など生産性向上によるコスト低減や、難易度の高い大型、複雑形状部品の冷間鍛造による高付加価値化が進行した。

例えば、自動車为例にとると、乗用車の軽量化指向に対応し FF 車の比率が年々増加し現在では 50% を越えようとしている。FF 車には等速ジョイントが動力伝達機構として使用されるが、等速ジョイントの個々の部品はその形状が複雑で比較的大単重でありかつ高精度が要求される。これら部品の加工は、直径 50 mmφ 以上の棒鋼を素材として、1000t 前後の大型トランスファープレスによる冷間鍛造、温間鍛造またはそれらの組み合わせ加工によるのが主流となりつつある。

また、温間鍛造に関しても高付加価値指向に適した加工として要求が高まっており、以前はベアリングレース、ソケットブランク、プッシュなどの比較的簡単な形状部品への適用が主流であつたが、最近では先述の等速ジョイント部品以外にさらに精密化を狙った温間閉塞鍛

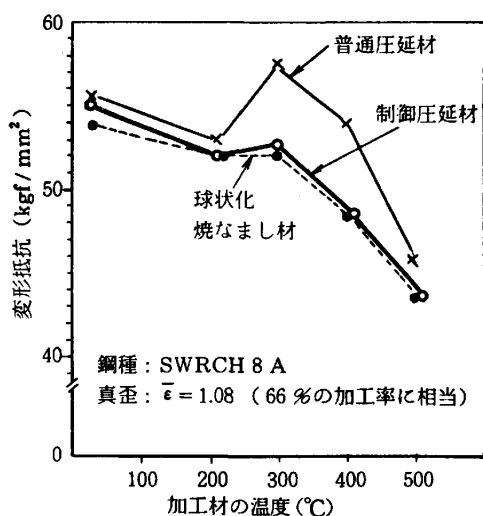


図 4-3-48 変形抵抗におよぼす制御圧延の効果の一例
(永井：第 98-99 回西山記念技術講座 (日本鉄鋼協会編) (1984), p. 12)

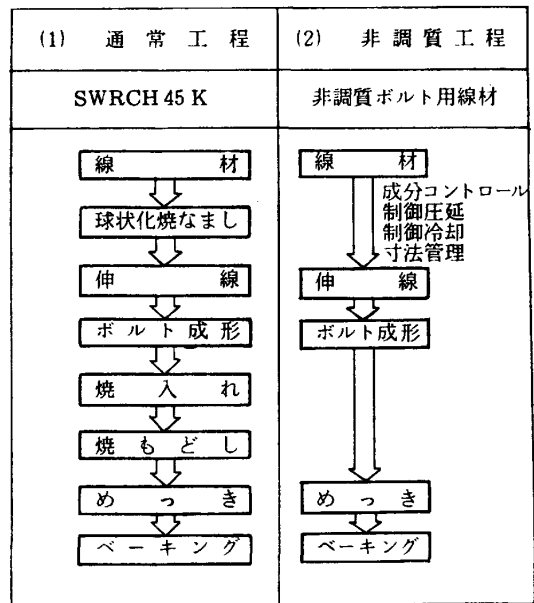


図 4-3-49 高張力ボルト製造における熱処理省略の例
(永井：第 98-99 回西山記念技術講座 (日本鉄鋼協会編) (1984), p. 12)

造が試みられており、一部のメーカーでは実生産されている。

(2) 冷間鍛造用材料

石油ショックを契機として、冷間鍛造前後の熱処理工程の省略を実現できる材料が開発、実用化された。

例えば、低炭素鋼を温度制御圧延することによつて、多段パーツフォーマーによる部品製造時に起こる動的歪み時効硬化を抑制し、かつ、通常圧延後球状化焼なましされていた従来の材料と同等の変形抵抗を示す球状化焼なまし省略材が開発、実用化された (図 4-3-48)。

図 4-3-49 に高張力ボルト製造工程における熱処理省略例を示す。引張強さ 70 kgf/mm² 以上の高張力ボルトの一部が図 4-3-49 の非調質工程に移行している。炉外精錬適用による狭成分範囲の維持、連铸工程の適用などによる機械的性質のばらつき減少もこの実用化に寄与している。

これら以外にも制御圧延、連铸化などによつて焼なまし工程の省略が試みられ、一部で実用化された。

今後とも、工程省略型材料の開発と適用分野拡大が進められると考えられる。

(3) 周辺技術およびその他

鍛造工具の分野では従来から使用されている工具鋼、高速度鋼、超硬合金に加えて 70 年代末より HIP 法により作られた粉末高速度鋼が使用され始め、その均質性とすぐれた靱性による長寿命が注目されている。工具の耐摩耗、耐焼付性の改善に対する炭化物被覆 (CVD, PVD 処理など) の効果が十分確認され今後もその適用

が広がるものと思われる。

潤滑については、冷間鍛造ではりん酸亜鉛皮膜が主流であるが、最近、より高温での使用に耐えるりん酸カルシウム皮膜の使用により工具寿命を延長した例が報告されており、今後の適用が期待される。温間鍛造では黒鉛系の潤滑剤が主として使用されているが、冷間鍛造のりん酸亜鉛に匹敵するものがなく今後の開発が待たれる。

今後、部品加工の分野においては、冷間鍛造とその競合技術の有機的組み合わせなどによるコストミニマムの追求、冷間鍛造部品製造工程の簡略化、自動化、製品の寸法精度向上、難成形部品の冷・温間鍛造化などがさらに進むものと思われる。

4.3.11 板成形技術

(1) 高張力鋼板

1973年の第一次石油ショックは自動車に省資源、省エネルギーのインパクトを与え、低燃費化が車両開発の最重要課題の一つになった。低燃費実現には、エンジン・駆動系の効率向上、走行抵抗の低減のほか、車体の軽量化があるが、この車体の軽量化へのアプローチの一つに自動車ボディへの高張力鋼板の適用があつた。1973年、自動車製造各社と鉄鋼会社が共同して当時市販の高張力鋼板で、普通鋼板を使用するときの生産条件を変えずに、代表的な車体の内外板とメンバー類の計165部品を試験的に成形したところ、成功といえるものがごくわずかしかないという悲観的な結果におわり、成形上解決すべき問題として、われやしわ、たるみ、べこなどの表面形状不良、曲げにおけるスプリングバックやそり、ねじれが抽出された。その時点での板成形技術は、高い成形性をもつ低降伏点、高延性、高 r 値材を対象にして確立されたものであり、引張強度向上に伴う高降伏点、低延性の高張力鋼板を加工すれば当然予想されたことでもあつた。

この頃から各鉄鋼メーカーは成形性のよい高張力鋼板の研究開発を積極的に行い、自動車製造各社による精力的な適用検討が行われた。そして高張力鋼板採用に伴う板厚減少にかかわる製品機能上の問題—張り剛性、耐デ

ント性、耐食性、疲労、衝撃強度などとともにプレス成形性に関する生産上の問題が、材料の改善と生産技術の両面からアプローチされてきた。こうした検討を通じて車体部品に適用できる高張力鋼板の特性は部品の形状とそこに要求される機能により大いに異なることが明らかになった。以下に若干の例を述べる。

ドア、フード、ラゲージなどの浅い外板部品の成形では、スプリングバックや面ひずみと呼ばれる局所的な微小な形状不良などを生じやすい。図4.3.50に示すドアは耐デント性が要求され、形状が平坦なため変形が中央部まで十分いきわたらず面のスプリングバックが生じ、また取手座近傍では面ひずみが問題となる。このスプリングバック対策としてオーバークラウンの型への見込みや普通鋼板と同程度のひずみをパネル中央部まで与えるため高めのしわ押さえ圧の設定が有効である。さらに面ひずみを緩和するには低降伏点と高 n^* 値(微小変形域における加工硬化指数)が効果があり、耐デント性には降伏点の高いことが要求される。こうした降伏点に対する相反する要求に応えるために焼付硬化性を積極的にもたせた、いわゆるBH(Bake Hardenability)鋼板が開発された。このBH鋼板は、できるだけ軟質の状態ですプレス加工しその後の塗装焼付け時に硬化させるというもので1980年以来大幅に採用されている。

自動車内板部材での高張力鋼板は、衝突時の乗員保護のため塑性変形による衝撃エネルギー吸収能向上を目的に使用され、各種メンバーやその補強材が主体である。単純なハット断面形状をもつ、これらの部品はボデー建付けの基準となる部品が多く、高張力鋼板化におけるプレス成形での主な問題点はポンチ肩部でのスプリングバックや側壁部でのそりが増大し所定の形状に凍結されないことである。これらの現象は板厚方向の応力分布の不均一にもとづく弾性回復により生じる不良であるが、成形途中に生じるこうした不均一な応力分布状態を緩和するには材料として低降伏点材を用いることが有効であるほか、成形技術として図4.3.51に示すようにダイ肩半径、しわ押さえ圧、ポンチ-ダイ間のクリアランスを適切に選ぶことにより60 kgf/mm²級の高張力鋼板でも側壁部のそりがなく成形を可能にすることができる。しかし製品形状によつては、上述の型形状の配慮や材料の選択だけではそり対策は破断の点から限界があり、側壁部の深さを変えたり、ビードを設けて形状凍結性を増すなどのくふうが必要となる。

高張力鋼板のプレス加工における、いま一つの問題は型のかじりである。これは型材にSKD 11など冷間ダイス鋼を採用し、型表面に硬質クロムめつきやVC、TiCなどの炭化物の被覆処理をすることで一般に対処

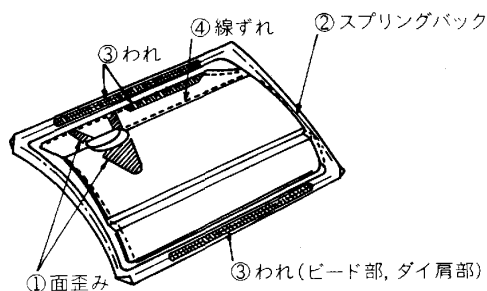


図 4.3.50 ドアの不良現象

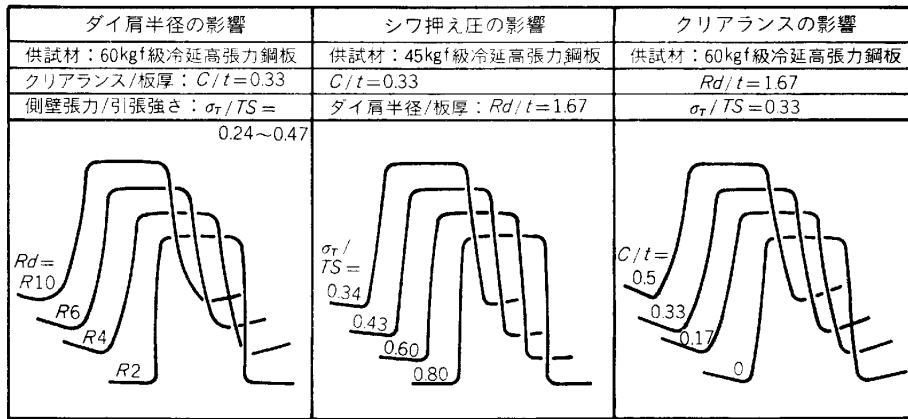


図 4.3.51 各種成形条件におけるハット断面形状の変化
(岩崎ら：アマダ技術ジャーナル (1982) 79, p. 1)

できる。厳しい加工では、油性潤滑剤に固体潤滑剤を混ぜるとか、工程を増やして一回の成形量を低減することも有効な手段として採用されている。

このような経過で、高張力鋼板の自動車への採用は図 4.3.52 のように徐々に増加し現在ボディ部品の 37~40% にも達している。高張力鋼板の採用度を今後いつそう高めるには、部品ごとの機能と成形性にマッチした材料の開発とその安価な供給、ダイフェース、ビード、工程設計などによる材料の移動や変形の挙動の制御技術の確立が重要と考える。

(2) 防錆鋼板

北米、北欧など冬期に凍結防止剤を多用する地域での耐食性を向上させるため防錆鋼板が多く使われるようになった。とくに高張力鋼板の採用により軽量化を図ることは必然的に板厚減少を伴い、防錆対策はいつそう重要になる。厳しい加工性が要求される自動車外板では電気亜鉛めっき鋼板がもつばら使用され、ごく最近になつて、他の要求品質—溶接性、耐食性、塗装性をより向上させることのできる複層めっき鋼板も開発され、防錆鋼板の使用は確実に増加してきた (図 4.3.53)。

防錆鋼板のプレス成形についての報告はほとんどないがめつき層の存在による新たな不良が生じている。例え

ば材料のダイキャピティへの流入抵抗の違いによる、われ、しわ、面ひずみといった成形不良、めつき層がプレス成形中に剝離する、いわゆるパウダリングおよび剝離粉により生じる押しきず、ぶつなどである。パウダリングについては型の清掃をひんばんに行うことが最も有効な対策であるが、表面損傷と無縁な防錆鋼板の早期開発がのぞまれる。

(3) CAD/CAM

プレス型の設計、製作に CAD/CAM が盛んに検討され採用されている。これまでのところ打抜加工を主体とした順送り型などの設計には相当な進展がみられるがグラフィックディスプレイ上で設計者とコンピュータが会話して型構造について検討、判断を繰り返して設計を進行させるシステムとなつている。こうした中で一歩前進した試みが行われた。

自動車ボディパネルのプレス成形では、部品が寸法で、複雑かつ微妙な曲面で構成され、しかも面形状精度に厳しい要求が課せられているため、プレス型製作の最終段階でトライアウト、補正にばう大な工数を費している。これを削減するためコンピュータの助けをかりて、しわ押さえ面、余肉、ビードから構成されるダイフェースを設計しようというシステムであるが、その設計

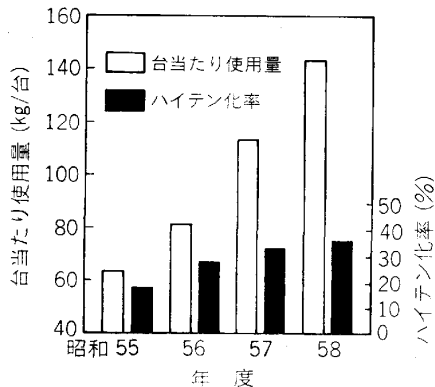


図 4.3.52 高張力鋼板の使用量の推移例

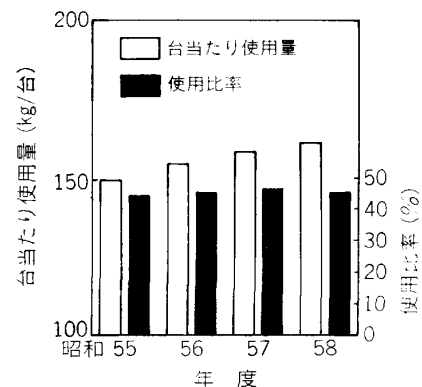


図 4.3.53 大衆車(対米)への防錆鋼板の使用状況

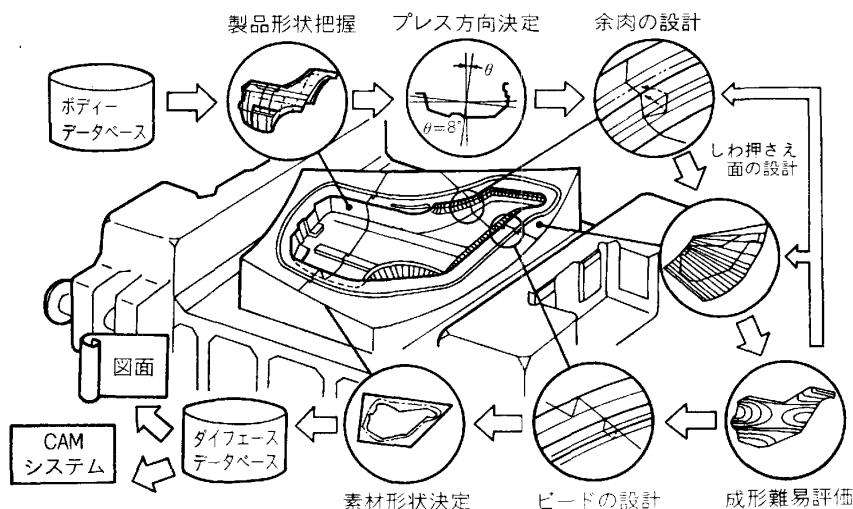


図 4-3-54 CAD によるダイフェースの設計
(高橋ら：塑性と加工, 24 (1983), p. 1282)

手順を図 4-3-54 に示す。この方法の特長の一つは成形難易評価—成形の観点から設計の良否を判断し事前対策を可能にしたことである。すなわち経験も加えて設計されたいくとおりのダイフェースのもとでコンピュータに成形のシミュレーションを行わせ、面ひずみやしわや破断を予測し、どのダイフェースが適しているか評価し、設計段階で対策を講じるのである。この成形予測の結果、クォーターパネルの例ではトライアウト完了までにこれまで要していた工数の 2/3 を削減することができた。このダイフェース形状データはプレス型の CAM システムに送られ、曲面の NC 加工に利用される。従来ダイフェース形状の検討および型製作用に作られていた各種のツーリングモデルを廃止し、データベースで置き換えることができるようになった。

4.3.12 軽量形鋼製造技術

ロール成形技術に関する進歩もめざましいものがあるが、ここでは鋼管以外のものについて考える。

最近 10 年間の設備技術については特色あるものとしては次の項目があげられよう。

(1) クイック・ロール・チェンジ方式の開発

同一のロール成形機により各種断面の製品を製造するためには、プレス加工におけるクイック・ダイ・チェンジに相当する成形ロールのクイック・チェンジが必要である。

各種の方式が試験され、開発されつつあるのが現状であり、2~3 スタンド分を同時に交換するブロック式、各種の幅の製品を生産するための自由側のスタンドを移動させる幅寄せ式、広幅板を装入して途中でスリットロールでスリット加工を行いながら横に並んだ多数の孔型に入れてゆく多列成形方式、スタンドを 4 面を有する角型テーブルに設置して 4 種の製品を順次成形するスタンド 4 面成形方式、また、ロールスタンド列をセットしたテ

ーブルを 2~3 種類あらかじめ用意して地上面をスタンドごと移動できるようにしたテーブル移動方式などが開発された。

(2) サイドロールおよびアイドラロール方式の進歩
従来の上下成形ロールのほか、各種のサイドロール方式の開発が進められ、ケージフォーミング方式およびローラダイ成形方式などが進歩した。これらの方式はいずれもロール交換を行うことなしに広範囲のサイズの成形を可能にしている点に注目する必要がある。

(3) ロール成形から冷間引抜加工・冷間押出加工への連続化

ロール成形に連続化させてコールドレデューサーロールを用いる方式は実用化されているが、さらにフローティング・プラグを利用した冷間引抜加工への連続化が光ファイバー保護用パイプにおいて実現化している。また、一方、冷間押し出しロール加工により各種異形断面製品を生産する方式も出現した。

(4) ルーピング装置の進歩

成形機の入口前でエントリ作業やコイル間の溶接作業中に停止することなく板をロールに送りこむためのルーパは長い間、ケージ方式が主であつたが、作業の連続化、能率化を目的として、新しく天井ルーパ方式、ロータリーフリーループ方式およびスパイラルフリーループ方式などが発達した。

次に製品技術の立場からの進歩を見てみよう。

(a) ロール成形製品の高張力化

最近の自動車業界における高張力鋼の利用はプレス加工のみならず、ロール成形にもあらわれ、100 kgf/mm² というような高張力鋼のロール成形製品も出現した。高張力鋼のプレス加工では型の摩耗、スプリングバックなどの問題が多いが、ロール成形ではロール設定の調整などを通して比較的容易に生産を行うことができる。

(b) ロール成形製品の厚肉化

シートパイル、コンテナ部材および各種断面材においては大型化、強度の向上などを目的として製品の厚肉化が進み、ロール成形機の剛性やロール強度などもますます増加の傾向にある。

(c) ロール成形製品の薄肉化

厚肉化は普通鋼、低合金高張力鋼の傾向であるが、ステンレスなどの高合金鋼においては強度を必要としない製品について薄肉化が進みつつあり、その際の成形技術についても波状変形の防止法などが検討された。

(d) ロール成形製品の塑性曲げ

ロール成形では従来から主として真直性の高い製品を目的としてきたが、自動車部品など、とくにバンパーにおいてはロール成形後に一定の曲率に曲げるといった加工が連続することが多く、その際に側壁に座屈による波状変形を生じやすい。これら波状変形の防止のための底部圧下法や引張加工法など技術的なくふうが種々検討された。

(e) ロール成形製品の表面加工

ロール成形製品の表面に対して新しい表面加工を要求される例が増加しており、特殊なエンボスロールによつて成形中に表面模様をつけた壁材やエレベーターの内壁などが出ている。また、ブラシやベルトサンダによつて新しい感覚の表面を生み出すヘアライン加工なども利用されている。なお、表面処理鋼板のロール成形加工は建材その他に広く利用されている。

(f) ロール成形製品の複合加工

安価な普通鋼板の外表面に極薄のステンレス鋼板やアルミ、銅板などの非鉄材を成形中に巻きつける方式のクラッド製品のほかに、表面に接着剤で接着させるとか、また、射出成形機により成形製品の外側をプラスチック被覆するような例が増加している。また、ロール成形を行つた2枚の広幅成形板の間に高分子材料や発泡ポリウレタン、また、耐熱材料、保温材などを封入して冷却能や耐熱性の良好な壁材を生産する方式が利用され、大型の冷蔵倉庫の建設、IC その他の精密部品製造工場の建設などに役立てられており、今後とも省エネルギー時代の要求として、これらサンドイッチ成形製品の使用が増加するものと考えられる。

4.3.13 引抜加工技術

鋼管引き抜きは別項に譲り、ここでは線材(棒鋼)に関する引き抜き(以下伸線と言う)を述べる。

伸線の工程は図4.3.55に示すように、前処理(デスケール・潤滑)、伸線、熱処理より成り、必要によりこれらを繰り返す。また伸線はサイズにより多パスの連続伸線を行う。最近の技術開発の特徴としては、工程の省略

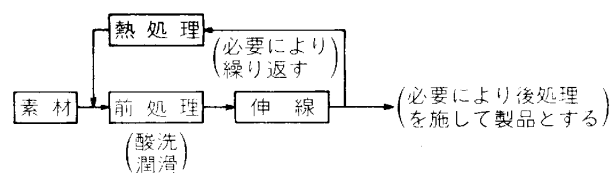


図 4.3.55 線材の伸線工程の代表例

や簡略化を直接、間接に目指したものが多く、省エネルギー省資源に成果を上げている。

さて工程の合理化に関しては、前処理に関連する開発が精力的に行われた。これには前処理自体の技術開発と前処理を不要あるいは簡略にする伸線技術の開発の両面がある。まず前者について述べる。

近年、線材コイルの単重が増加し(1t→2~3t)、従来の酸洗槽に入り切らなくなつたため、結束されたタイトコイルのまま処理することが増えてきた。しかし、コイル内部への酸の流通性が悪くなり、処理時間が長くなる。そこで、コイルが液中に浸漬された状態でコイルに振動を加えて液の流通を促進させる振動酸洗法によつて解決が図られた。当初は上下振動法が、最近回転振動法が開発され、振動形態としてはほぼ理想的なものに近づいたと考えられる。工程短縮のほか、酸そのほかの原単位の向上が可能とされる。

酸洗法は廃液処理や公害対策の問題があるため、メカニカルデスケーラを採用するのも最近の傾向である。この場合はデスケーラの構造上、伸線機と直結したインライン方式とするが、そうするとデスケール後の潤滑処理もインライン化される。従つて前処理工程が簡略化され細線の伸線には好んで用いられている。しかし、冷鍛用の太径線では潤滑にりん酸塩処理が必要でこれに長時間を要するためインライン化は困難とされていた。

ところが最近浴組成や操業技術の改善により、りん酸塩処理時間が著しく短縮できるようになり(10min→20s)、いわゆるインラインボンデ処理が実現した。この方式は特に中規模の工場に適すると考えられる。

さらにメカニカルデスケーラに代わる中性塩電解法も試みられており、無酸洗のインライン前処理は今後の主要技術の一つとして位置付けられる。

次に前処理を簡略化できる伸線法として、ローラダイス法と冷間圧延法が普及しつつあるのも注目される。ローラダイスは垂直・水平ロールの丸・オーバル孔型を組み合わせたもので、線材の前処理が不要になる。調整が難しいため特殊な用途に実用化されていた程度であるが、最近汎用のものも市販され始めている。また高剛性ローラダイスを開発し高張力線の黒皮伸線に使用した例もある。

圧延法は3ロール方式で12スタンド程度の連続圧延

機が開発され、2~3 mmφ の鋼線に実用されている。これも前処理が簡略化できる。ロールによる加工には種々の利点があるが、工程簡略化の観点からも今後の発展が期待される。

さて、次に伸線加工そのものについて考える。ここでの課題の一つは、伸線性を高めてパス回数を減らしたり減面率を上げて中間熱処理を省略することである。当然素材技術に依存する面も強いが、伸線技術面では直接冷却伸線法がある。これはダイス出口に水冷管を設け、線材がダイスを出た直後水中で直接冷却される方法であり伸線における温度上昇の抑制に強い効果がある。特に高炭素鋼の伸線の場合、伸線時の動的時効が防止され、線材の延性が向上する。従つて製品の特性向上に有効なのは当然として、伸線性が向上するので減面率を高めることができ、細線製造の際中間熱処理を省略できる可能性がある。鋼線の最近の傾向として高強度化と細径化があり、これに対応する技術開発は今後とも重要である。

細線、極細線の分野における技術開発として、焼結ダイヤモンドダイスの普及がまずあげられる。数 μm のダイヤモンド粒子をサーメットで結合した構造で、天然単結晶ダイヤモンドに比べ開性がなく長寿命であり、かつより大型のダイスが作れることが特長である。このほか、回転溶湯紡糸法、ダイレス伸線法などまだ実用化されていないが、工程省略の可能性を秘めた新技術も開発されており、今後期待したい。

以上、本項では省エネルギー、省資源の観点から、特に工程の合理化に関連する話題を取り上げた。ここで紹介できなかった新技術も多いが、最近の伸線技術開発には例えば高速化といった量産志向のものは減つてきており省エネルギー的な性格がみられるようである。

4.4 溶接技術

最近の鋼構造物の高級化、使用性能の過酷な要求を反映し、年々溶接技術の重要性が増しているが、製鉄関連に限つてみても、圧延工程から下流部門の要素技術として注目を浴びており、最近の技術進歩に著しいものがある。鉄鋼分野に係わる溶接技術の問題は、その利用形態から次のごとくに分けられる。

- ① 鉄鋼製品の利用加工技術。(例えば、溶接性良好な鋼材と溶接継手の開発など。)
- ② 鉄鋼製品の生産技術。
- ③ 鋼材生産ラインの連続化、能率化、大単重化に伴う接合技術。
- ④ その他。

この内①に関しては本記念号別項で記述されているので、本項では主として②、③の鉄鋼製造プロセスの溶接

技術に焦点を当て、最近の進歩を述べる。

4.4.1 溶接技術の位置付け

上記の②は UO 造管あるいは電縫造管などの溶接が主だつたものであり、技術的には成熟度のかなり高い分野である。一方③の利用形態は薄板圧延、酸洗処理ラインなどの連続処理を目的にしたコイルビルトアップに代表される。これら鉄鋼プロセス内の溶接は一般のファブリケータ分野と異なり、接合部の形状が比較的単純なのが特徴であるが、前後工程の成形、圧延、酸洗処理などのライン速度に見合った高速性と同時に高品質な性能が要求される点では相当厳しい技術課題がある。②、③の溶接技術すべてを網羅し紹介するには紙面の制約もあるので、今回は最も代表的な UO 造管、電縫造管、およびコイルビルトアップの溶接技術に焦点を絞り展望する。

またその他として、鋼製品の二次加工的な溶接技術の利用形態もあり鉄鋼産業としてみればエンジニアリング事業など鉄鋼製品の付加価値を高める点で重要な技術ではあるが、利用される溶接技術が一般の鋼構造物加工分野と類似しているので、今回は省略することとした。

4.4.2 UO 造管溶接技術

天然ガス、原油のパイプライン布設事業の大規模化、極地化を反映して、UO 鋼管の製造技術はこの 10 年間で目覚ましい進歩を遂げているが、その内にあつて、溶接技術は素材開発、成形技術などとともに品質向上、生産性向上に大きな役割を果たしてきた。特にその中心となる SAW 技術は高速高能率化と同時に、溶接部の靱性向上と溶接欠陥低減による継手部の品質安定化に関する技術が定着した点で大きく評価されている。また従来はとかく経験則が支配していた溶接操業技術をより科学的に制御することが原則とされるようになり、現象的に裏付けられた技術開発が芽生えたのもこの 10 年間の大きな収穫であつた。

(1) 仮付溶接技術

従来は一般構造物と同様に被覆アーク溶接あるいは半自動 CO₂ アーク溶接で断続的な仮付溶接が採用されていたため能率および仮付け部の品質に問題があつた。そこで、本溶接の品質を損なわない自動化高速溶接法として CO₂ や CO₂+Ar によるガスシールド・メタルアーク溶接法(GMAW)が開発された。一部にはマルチヘッド方式を採用しているところもあるが、近年設置された UO ミルでは単ヘッド方式で 4~5 m/min の連続仮付溶接が主要技術となつている。このような高速条件下でビード不整、スパッタなどを防ぎながらアーク長の短い埋もれアーク条件を安定に維持させるため、アーク電圧