

局部は主として破断を生ずる場所で、破断ひずみや近傍のひずみ分布が用いられる。全体形状と部分形状の評価は、製品設計や技術企画段階で、部分形状と局部は試験作業や完生産における不良対策に用いられる。

IDDRG が、国際的共同研究を進めているのは、わが国でいう局部のみを対象にしているもので、それも破断ひずみ限界を求めることである。破断ひずみ限界は図4・2・10に示すようなもので、単純経路の限界線はKEELERが指摘し、複合経路の限界線は、小林(敏)が存在を指摘し(昭和43年)薄鋼板成形技術研究会が求めたものである。単純経路の限界線の形状は、図4・2・8の形状に似ており、また(11)式と(14)式の拡散くびれと、局部くびれの複合されたものとも似ている。この限界を、破断前の薄板の肌荒れで定めても、似たような限界が得られる(小林徳らによる)。複合経路の限界線の存在については、久保寺らが一つの解釈を示しているが、今後に残された課題である。

わが国では、肌荒れあるいは破断限界線と、局部近傍のひずみ分布を同じ座標上に図示した。変形状態図をも用い、広く実用されている。

(11) むすび(成形性理論のすうせい)

材料の成形性並びに形状と寸法による成形限を結合する体系が成形性理論であり、力学と材料学で構成される。部分的には、理論構成が進みつつある。それらの総合化は、変形抵抗、変形強度並びに変形能の変形様式、異方性、ひずみ速度と温度などの依存性を中心に行なわれよう。その他に重要なことは、応力やひずみ伝播挙動、並びに表面問題である。また、成形難易評価システムも、構成要因の一つであろう。

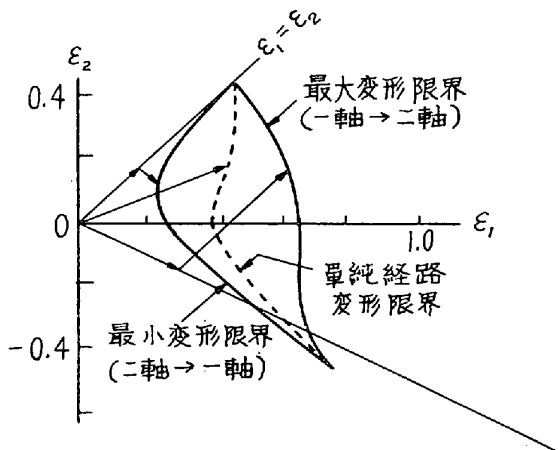


図4・2・10 変形限界の変形様式依存(キルド鋼)
(薄鋼板成形技術研究会資料サークル
直径 1/2")

4.3 鋼板製造技術の進歩

4.3.1 分塊圧延, 厚板圧延

(1) 分塊

日本鉄鋼業の発展とともに分塊技術においても量・質ともに著しい進歩を遂げてきた。特に量においては設備

の大型化・高能率化が目覚ましく、10年前と今日とではその能力においては1.5~2倍に向上している。これは各設備の設計製作技術が進歩すると同時に、その運転技術も呼応して向上していることを示しているといえる。一方質の面においても設備の自動化、コンピュータの導入、精整手入の充実などにより著しい改善向上が認められる。これらの進歩はその結果としてコストの低減に寄与するところ極めて大きいものがある。

(a) 均熱関係

均熱炉操業における数多くの技術的課題の中から主な点を2~3取上げてみると、まず第一に焼上りの予測をいかに適切かつ早期に行なうかということである。この適否は、品質や原単位に関与するのみならず分塊工場全体の円滑な操業に影響すること大なるゆえ、その方法については古くから研究されてきた。昭和42年頃からはコンピュータ活用による方法が本格的に研究され、今日ではほとんどの均熱炉で実用化されるに至っている。

これは必要均熱時間 hr を求める次の式

$$hr = k \cdot T^{\alpha} \cdot W^{\beta} + c$$

(T : トラクタタイム, W : 装入量, k, α, β, c : 定数) に対し適当な定数を選定し、コンピュータにて算出することにより、高精度の予測を容易に行なうことが可能となったのである。従来の肉眼判定、流量判定などと比べ著しく進歩したといえる。

第二の課題は燃料原単位の低減であり、エネルギー有効活用の点からも重要である。これにはトラクタタイムの短縮、燃焼用空気の予熱効果の向上(レキュペレータの改良など)、空燃比調整の適正化、ヒートパターンの改善などなど数多くの成果ある研究が進められている。特に、トラクタタイムについては原単位のみならず、炉の能率および鋼塊品質に対しても重要なポイントである。

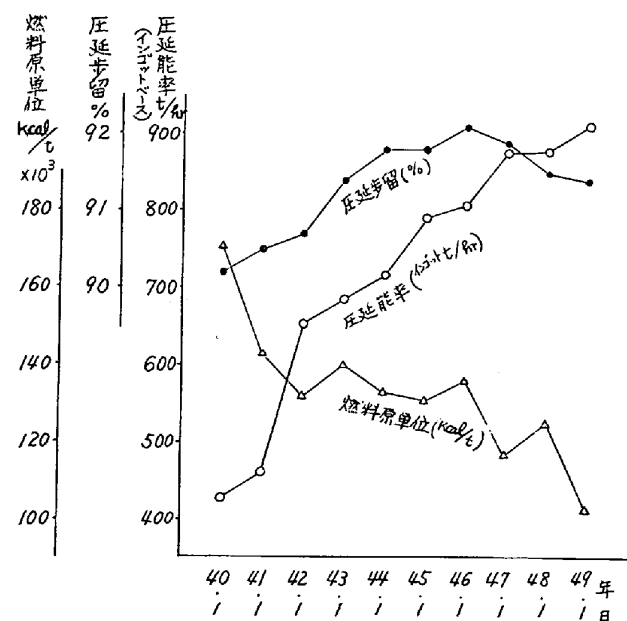


図4・3・1 分塊圧延諸元の実績推移
各分塊工場の操業実績中各項目別の最高実績値のみ抽出しグラフにしたものである(出所: 分塊分科会資料)

表 4・3・1 最近建設された分塊ミルの例

工 場 名	君 津 (1分塊)	水 島 (2分塊)	名古屋 (2分塊)	加古川 (1分塊)
建設年	昭和43年	昭和44年	昭和44年	昭和45年
主 成 品	ス ラ ブ	ス ラ ブ	ス ラ ブ	ス ラ ブ
ロ ー ル 寸 法	1300φ×2800 L	1300φ×2800 L	1300φ×2800 L	1300φ×2800 L
水平	1040φ×2400 L	1050φ×2320 L	1000φ×2500 L	1040φ×2400 L
堅	6700kW×2	5000kW×2	5600kW×2	5600kW×2
主モータ出力	3750kW×1	3500kW×1	3000kW×1	3000kW×1
水平	40 t	40 t	40 t	40.6 t
堅	40万 t /month以上	500万 t /year	300万 t /year	500万 t /year
最大鋼塊単重				
生産能力				

工 場 名	鹿 島	福 山 (2分塊)	和歌山 (2分塊)	君 津 (2分塊)
建設年	昭和45年	昭和44年	昭和44年	昭和46年
主 成 品	ス ラ ブ	粗形, ビレット, (スラブ)	ビレット	ビレット
ロ ー ル 寸 法	1370φ×2800 L	1350φ×3400 L	1st 1270φ×2800 L	1st 1300φ×2700 L
水平	1040φ×3050 L	—	2nd 1150φ×2800 L	2nd 1300φ×2700 L
堅	6720kW×2	5600kW×2	1st 3750kW×2	1st 3500kW×2
主モータ出力	3700kW×1	—	2nd 2250kW×2	2nd 3500kW×2
水平	40 t	40 t	10 t	21 t
堅	600万 t /year	300万 t /year	180万 t /year	300万 t /year
最大鋼塊単重				
生産能力				

したがって実作業面での管理を強化する一方、鋼塊凝固理論における基礎研究を進め、その短縮の限界に挑戦しているのが現状である。これらの努力により燃料原単位の実績としては、各工場の操業条件によっても異なるが、10年前に17万 kcal/t 程度が限界であったが、今日では約10万 kcal/t の記録も出ておりその進歩は極めて顕著である (図 4・3・1 参照)。第三に炉内温度分布差をいかに小さくするかという課題が挙げられる。種々ある炉形式の内設備費の安い上部一方焚換熱式が一般的に普及しているが、その欠点である炉内温度分布不均一が問題となる。一方最近では 250 t/ホールの大容量の炉が実用化されているように炉容の拡大化が進み、上記問題は一層重要となっている。これに対してはバーナーの改良、燃焼方法の改善などが研究され、スパイラルバップルバーナーの実用化、補助バーナーの採用、長短炎制御方式の開発などが行なわれているところであり、今後さらに検討を要する課題であろう。

(b) 圧延関係

圧延設備の大型化・高能率化はスラビングミルにおいて顕著であり、ハイリフト式からユニバーサル式への移行によるその進歩は極めてめざましいものがある。一方ビレットミルにおいても連続式ミルによるビレット圧延の定着は、品質・能率の向上に寄与するところ大である。表 4・3・1 に最近建設された分塊ミルの例を示す。分塊圧延において能率の向上は常に重要課題である。設備の大型化とともに、その運転技術の向上 (パススケジュールの改善、鋼塊の大型化、タンデム圧延率の向上など) により圧延能率の実績は、スラブ圧延を例にとってみると、10 年前の最高が 450 t/hr 以下であったが最近では

900 t/hr 以上を示す工場が出現している (図 4・3・1)。また品質・歩留りに関しても最重要事項であり、数多くの技術的改善が行なわれてきた。たとえば、鋼塊形状の改善、パススケジュールの改善、ロール孔型の改良、デスケリングの改善、自動圧下によるばらつきの減少などが挙げられる。同時に日常のきめ細かな管理の徹底により、品質・歩留りに関する向上は著しい。図 4・3・1 に分塊圧延歩留りの実績例を示す。

一方圧延用ロールの製造および使用の技術的進歩は見逃がせないことの一つである。分塊用ロールとしては、ダクタイル鉄、球状黒鉛鉄鋼、特殊鉄鋼などが用いられている。最近の傾向としては、対熱亀裂性・対折損強度はもちろんのこと、耐磨耗性への要求が強く、この点優位にあるダクタイル鉄が多く使用されている。使用方法においてはロール冷却方法、ナーリング方法、研削方法などに対する改善が行なわれており、使用実績では10年前の最高が 100万 t に満たない状態であったが、最近では 300万 t 以上に達するものが出ている。

(c) 精整関係

精整関係で特に進歩を示したものとしては、ホットスカーファの活用と鋼片冷却設備の開発が挙げられる。ホットスカーファ施工の適否が歩留りおよび冷間手入能率におよぼす影響が大きいゆえ、その性能と活用方法について従来より種々検討されてきた。今後もその有効活用の果す役割は大きいといえる。また鋼片冷却設備については、水車式やスプレー式のスラブクーラーが開発され、鋼片冷却場面積の縮小および処理能力の向上に大いに貢献している。一方鋼片の冷間疵取り作業はスラブにおいて特に従来から悪環境下での労働集約的作業であ

るだけに、その機械化が切望され、近年コールドスカーフナーなどが普及されつつあるが、この種の機械化自動化が省力に果す役割も大きく、今後疵検査の自動化とともに、一層研究開発が望まれる分野である。

(d) コンピュータの活用

この10年間で特に進歩した分野としてコンピュータの活用が挙げられる。たとえばオンラインリアルタイムデータ処理、均熱焼上り予測、ミル圧下の自動化、スカーフ速度の自動設定、切断長さ取合せ計算の自動化、鋼片の在庫管理、等々に対するコンピュータの導入が近年急速に進み、品質・歩留り・能率の向上および省力化に果す役割は極めて大きく、今後も益々進展することが期待される。

(e) 環境改善

最後に分塊工場における環境問題について付言すると均熱炉での使用燃料の選定・燃焼方法の改善による SO_2 、 NO_x の低減、スカーフナー排煙に電気集塵機の設置、用水の完全循環処理方式の採用など着実に環境改善が進められている。

以上分塊技術の進歩の概要を述べたが、今後の大きな課題としては連続鑄造の発達に関連して、分塊材の特性を十分に生かすことの考察検討を行ない、益々多様化・高級化する下工程の品質要請に十分応えなければならないということであろう。

(2) 厚板

厚板製造技術は、あらゆる面で最近の進歩は著しいものがある。これの主要な背景をなすものは、

- 1) 計測、制御技術をはじめとする周辺技術の発展とこれの積極的な導入。
- 2) 鋼板需要の増大と、これに伴う需要家からの、高度の品質要求

である。この二つを柱として、厚板製造技術は量、質両面での、めざましい発展をとげてきた訳である。

鋼板需要の量的増大は、必然的に設備の大型化、効率化をうながした。まず加熱炉についてみると連続加熱炉でこの傾向は顕著で、従来の3帯式から5帯式、6帯式のものまで使用され、これに伴って加熱能力は100 t/hrから150~200 t/hrへと増大している。一方ウォーキングビーム、エキストラクター、大型ホットスキッド採用により品質面での改善も著しく、更にLPG、低硫重油の使用、集合煙突の設置など、公害面での種々の対策がとられている。現在厚板圧延機は、四重逆転式圧延機が主流をなしているが、広巾化の一途をたどり、昭和30年代の4 mから4.7 mとなり、今や5.5 mが計画されるに至っている。この様な広巾化と圧下量の増大により、許容圧延荷重も大きくとり、ミル剛性の強化に伴って、主電動機も大型化し、5,000 kW×2に達している。また最高圧延速度も高能率化に対処して、従来80 rpmから100 rpmが普通となっている。

品質面への対策では、デスクリングの強化による表面状況の向上、板厚偏差減少を目的としたAGCの採用、バックアップロールの大径化、ロールベンディング装置が、その主なものとして挙げられる。

厚板製造工程の中でもっとも人手を要するものは、切断以後の精整工程であるが、ここには、自動マーキン

グ、自動採寸、連続探傷などの機器が導入され、省力化を推進するとともに、厚板製品の管理をより正確にし、生産能率の向上に寄与している。

熱処理関係では、無酸化炉の設置、ローラクエンチに代表される連続焼入装置の採用が、もっとも特徴的なものである。

製造者側の主要な問題は、歩留りと生産性の向上である。この目的を達成するためにライン・コンピュータによる全工程の計画と管理、素材設計を行なうことや、圧延作業をプロセスコンピュータにより機械化することは、厚板製造の各工程を理論的に解析し、もっとも合理的な設備、管理方式を追求せしめることともなった。

品質面では、需要家からの要求に応じて、溶接性の向上、内質の改善にめざましい進歩がみられる。これは製鋼技術の発展に負うところが大きい。耐ラメラティヤー鋼板とか、大入熱溶接用鋼板はその例である。更に高張力鋼板や極厚鋼板の進歩についてもその役割は大きい。高張力鋼板では、これに加えて、クエンチ・テンパーの技術やコントロール・ローリングの発達によってすぐれた品質の鋼板が作られている。極厚の70, 80キロ高張力鋼板は、前者の成果であり、ラインパイプ用のすぐれた靱性を有する鋼板は後者の成果である。

以上に概説した厚板製造技術の進歩は関連すべての分野の技術が総合された成果であり、しかも理論的な裏付けが確実になされていることが一つの特徴であるといえよう。

以下に最近の技術的進歩を示す顕著な例について詳述する。

(a) コントロールド・ローリング

コントロールド・ローリングは熱処理によらず、圧延のみによって低温靱性の向上を計る方法である。従来から衝撃値の要求のある造船用鋼板では結晶粒の微細化を目的として、仕上温度をある程度規制する方法がとられてきた。しかし最近のパイプラインは、極寒の地に敷設されるものが多いため、低温における破壊に対する安全性を重視して靱性にすぐれかつ低炭素当量で溶接性のすぐれた材料が要求されている。低合金鋼を調質(焼入、焼戻し)することにより、すぐれた特性をもつものが比較的容易に得られているが、熱処理を行なうことは大量生産の点で限界がある上に、ラインパイプ用鋼板のように広巾薄物では歪が生じやすく、造管の際に問題となる場合がある。いまではラインパイプ用鋼板は、すべてコントロールド・ローリングのみによって製造されているといえよう。

コントロールド・ローリングはオーステナイトの再結晶を遅らせるために、少量のNbなどを添加した鋼を A_3 点近傍の低温で強圧下を加えることにより、オーステナイト結晶粒中に微細な加工ひずみを多量に残留させ $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態時に微細なフェライト組織を得る方法である。低温領域での圧下率の大きいほど鋼板の切欠靱性が向上することがわかっている。このため、従来の造船材の低温圧延と違って圧延機にかかる負荷はきわめて大きくなる。とくに大径のパイプの場合は広巾鋼板が必要とされ、5,000 tを超える圧延圧力が必要となり、ときには10,000 tに近い圧延圧力に達する。従来の圧延機では

おのずと限界があるので、最近計画中の圧延機にはそのような大圧延圧力を実現し得るものがある。

(b) 連続焼入

鋼板の焼入れ方法として従来は浸漬焼入、加圧焼入（プレスクエンチ）が行なわれていた。浸漬法では水槽内の冷却水の攪拌を行なっても冷却速度が不十分である。加圧焼入れではテーブルの上下に設けた圧盤により鋼板を固定し、スプレーノズルにより冷却水を噴射するが圧盤の足の部分に冷却むらが生ずることと、板の全面を同時スプレーするため、単位面積当りの冷却水量に限度があって、冷却速度をさほど速く出来ないという欠点があった。このため、上記の方法では、冷却速度の不足から、厚物高張力鋼板の場合は、冷却効果を成分で補うこととなり、低炭素当量の鋼板を製作するのは困難であった。

これらの点を改善して登場したのがローラークエンチに代表される連続焼入れ法である。加熱された鋼板をローラーテーブルで連続的に抽出しながら図4・3・2のように焼入れを行なう方法であり、抽出後焼入れまでの時間が短かく、その間の温度低下などが無いことと、冷却ゾーンの面積が小さいので、そこに多量の水を集中的に使用できることなどにより、冷却速度を著しく大きくできる。この結果従来は困難であった極厚クエンチ・テンパー鋼板の製造を可能とした。さらにこの方法は、焼入鋼板の長さに制限のないこと、焼入れむらのないことなど多くの利点があり、現在では高張力鋼板の焼入方法の主流をなしている。

(c) 連続製造スラブ

連続製造の技術が普及してよりあまり年月を経過していないが、現在、わが国の厚鋼板の半数が連続製造スラブから製造されている。このように急速に普及した理由は、鋼塊の場合単重の制限があり、素材設計に制約があったのが解消して余剰スラブが発生しなくなったこと、均一な性状であるため鋼塊のように偏析を問題としなくてよいこと、表面が良好で製品表面に問題がないことなど厚板製造に有利な点が多いことによる。これらは歩留りの向上につながり、ひいては生産性にも有利となった。最近では50キロ鋼、60キロ高張力鋼板にも使用され、使用率はますます大きくなり、工場建設計画に際しても連続製造との組み合わせは、必須なものとなっている。

厚板製造技術の進展を眺めてその特徴を考えると質的な面が強く浮かび上がることがわかる。厚板を使用する分野は新しい局面をひらいてゆく傾向が強いので、きびしい品質要求が今後も要請されることが予想さ

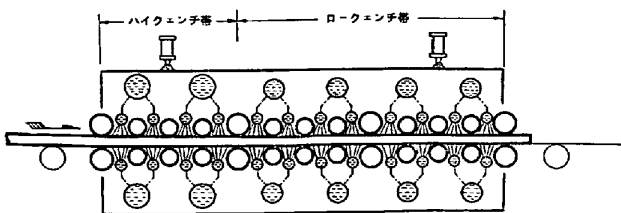


図 4・3・2 ローラークエンチ装置

れ、それに応じた厚板を製造する技術の発展が望まれている。このためには理論に結び付いた現場の技術が再認識されることが重要であり、その方向に進んでゆくものと考えられている。

4・3・2 薄 板

(1) 熱間圧延

(a) 緒 言

わが国におけるホットストリップミルは、昭和16年日本製鉄戸畑に初めて設置され、歴史の第一歩を踏み出した。これはアメリカよりの輸入設備であったが、戦後の鉄鋼業のめざましい発展も外国からの新鋭設備および技術の導入に始まり、これらの使いこなし時期を経て発展拡大してきた。

1960年代後半になると、それまでの経験をもとに国産の技術が急速に進歩し、新設備の国産化が進んだ。この時期は材料が大型化しミル能力が高速化、強力化、広巾化する一方、自動化、省力化が進み生産性の高いミルが出現した。表4・3・2に1960年代後半に建設されたホットストリップミルを示す。これらは図4・3・3に示すような生産性の高いミルで代表される。

また、従来技術が急速に革新されると共に、公害対策、省エネルギー対策といった新しい技術も登場した。

製品面は厚物コイラーや厚物シャアの設置により、16mmまで製造可能となり厚板の分野にまで広がった。薄板では60～80キロクラスの加工用鋼板や耐摩耗性、耐海

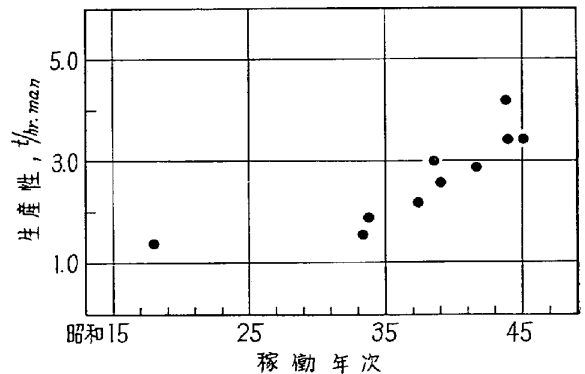


図 4・3・3 ホットストリップミルの生産性

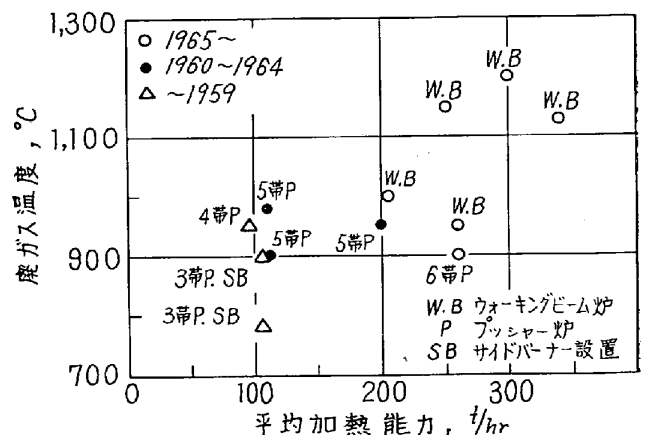


図 4・3・4 廃ガス温度と平均加熱能力の関係

表 4-3-2 昭和 40 年以降の新設ホットスリップミル

ミル名称	稼働年月	PIW	ミル幅 (mm)	加 熱 炉		粗 圧 延 機	仕上圧延機			巻取機
				能 力	型		基 数	モーター 総容量	最高 速度	
1 吳 No.1	昭和 40.5	750	1524	P 180×3		加熱炉 R ₁ , R ₂ 粗圧延 R _e	6	26300	865	3
2 福山 No.1	41.8	1000	2057	P 250×4		加熱炉 R ₁ , R ₂ 粗圧延 R _e	7	41300	1210	3
3 君 津	44.1	1180	2286	WB 300×3		加熱炉 R ₁ , R ₂ 粗圧延 R _e	7	70200	1400	3
4 鹿 島	44.4	1300	1780	WB 300×3		加熱炉 R ₁ , R ₂ 粗圧延 R _e	7	54700	1325	5(2)
5 水 島	45.1	1600	2300	P 325×3		加熱炉 R ₁ , R ₂ 粗圧延 R _e	7	46800	1345	4(2)
6 加 古 川	46.4	800	2186	WB 360×2		加熱炉 R ₁ , R ₂ 粗圧延 R _e	6	34500	1185	2
7 福山 No.2	46.6	1000	1780	WB 300×3		加熱炉 R ₁ , R ₂ 粗圧延 R _e	7	54600	1480	2
8 大 分	46.11	1700	2250	WB 350×2		加熱炉 R ₁ , R ₂ 粗圧延 R _e	7	75800	1627	2

(注) P はウォーキングビーム炉, WB はレバース式, R はリターン式, T はタンデム式, コイラーの項の () 内は近接コイラー

水性鋼板などが開発されて製品が多様化した。

(b) 加熱炉

(イ) 炉 体

材料が大型化するとプッシャー設備上の問題やスキッドマークの悪影響のため従来のプッシャー炉にかわってウォーキングビーム炉が主流をしめるようになった。ウォーキングビーム炉は加熱容量が大きいこと、スラブとスキッドとの間に滑りがないうえエキストラクターを採用しているためスラブ裏面疵が解消されること、およびスキッドマークが軽減されるなどの利点がある。ウォーキングビーム炉は下部帯がサイドバーナーであり、上部帯はサイドバーナーと軸流バーナーとの組み合わせとなっている。均熱帯は温度パターンの制御が容易であるルーフバーナーが採用されている。サイドバーナーやルーフバーナーは加熱パターンを所定の設定にすることが容易であることと、ウォーキングビーム炉ではスラブの装入間隔が任意に選択できるため加熱炉の計算機制御が進んだ。

しかし、構造が複雑で保守が繁雑であるうえ、建設費が割高であり、水冷部が多くて燃料原単位が高いことは今後の課題である。このため、スキッドスライダに特殊耐熱鋼を使用してスキッドマークの軽減をはかったホットスキッドプッシャー型加熱炉も採用されている。

(ロ) レキュペレータ

圧延機的能力が強力になるにつれ、加熱炉もこれに応じた能力が要求されるようになった。予熱帯にも燃料が投入されて加熱帯の役目をおこなうようになった。このため廃ガス温度も図 4-3-4 に示すように高くなる傾向になった。

1960年後半から採用され始めた輻射式のスタック型レキュペレータは高温の廃ガスによる破損が頻発したため、1970年代になると姿を消し維持が容易であるチャンネル型レキュペレータが主流をしめた。また、タイルレキュペレータも再登場した。

(ハ) 公害対策

1970年頃から環境対策として公害規制が強化された。従来、ほとんどの加熱炉がコークス炉ガス、高炉ガス、C重油を使用してきたが、廃ガス中の SO₂ 濃度を低減するために、S%の低い低硫黄重油、LPG、LNG、ナフサ、工業用灯油などが使用されるようになった。また、着地濃度の規制値を達成するためと建設コストを下げるために、数炉の煙道をまとめた高層の集合煙突があらわれた。

一方、廃ガス中に残存する窒素酸化物を低減する対策(NO_x 対策)として、低温燃焼法やバーナーの改造、燃料の検討などが研究さ

れている。

(ニ) 省エネルギー対策

加熱能力の増強を志向してきた操炉方法も公害規制の強化や、昭和48年の石油危機による燃料の急騰により燃料原単位低減を最重点とする方法に変容しつつある。

燃料原単位低減対策として、予熱帯での燃料投入をやめること、加熱温度を下げる、レキュペレータの管理を強化すること、炉内水冷パイプ類の断熱性を高めることなどの対策がとられている。

また、廃ガス熱量の有効利用法として炉長の延長や蒸気発生装置などが研究されている。

(c) 粗圧延

ここ10年間に建設されたミルは生産能力の高い全連続式が主流をしめているが、その内容は表4-3-2に示すように徐々に変化している。

初期は1スタンド1パス方式であり、ライン長さは非常に長かった。このため、圧延材の温度低下防止と工場建屋を節約するために、圧延材が比較的短かい前段スタンドは1スタンドで2パスおこなうリターンパス方式が、また、圧延材が非常に長くなる後段スタンドにはその間隔を短かくするために2スタンドをタンデム化したクローズドカップル方式が取り入れられるようになった。

さらに、仕上圧延機に比較して粗圧延はアイドルタイムが長く余裕があるので、前段スタンドに逆転式圧延機を組み込んだ3/4連続式ミルも見直された。

圧延材の単重が増加すると共に粗圧延での圧下量が著しく増大した。このため図4-3-5のように粗圧延機の1スタンドあたりの平均モーター容量は急増した。

1次スケールの剥離をおこなうスケールブレーカーは水平方式から垂直方式(VSB)が主流となった。また、連続鋳造材が多量に使用されるようになって強力な巾圧下能力が要求され、VSBおよび粗圧延機のエッジ能力が強化された。

(d) 仕上圧延

従来、仕上延機は6スタンド配置が一般的であったが、1960年後半以降に建設されたミルは材料の大型化に

ともなって7スタンドあるいは将来増設を見込んだものが標準となった。また、最高圧延速度も1,000mpm程度から1,500mpmに著しく上昇した。

この時期になると、サイリスタ制御方式、AGC、加速圧延法が全面的に採用されるようになり品質向上に寄与した。ストリップ形状制御手段としてロールベンディング装置や形状検出器が実用化された。板厚制御にはAGCが採用され計算機によるセットアップと共に板厚精度を非常に向上させた。さらに、この効果を高めるために後半スタンドに応答性の速い油圧圧下装置が採用され始めた。巻取温度制御は冷却効果は大きいラミナ・フロー方式と計算機による自動制御がおこなわれるようになって著しく改善された。

近年、各種の低合金鋼が圧延されたり、パイプ素材としての高張力厚板が圧延されるようになって、圧延条件と材質との関係が急に注目されはじめた。特に、圧延温度と材質との関係は密接であり、このために各種のスタンド間注水設備や温度低下防止装置が研究されている。これらの設備はストリップ表面疵対策としても重要視されている。また、一般材についても冷圧時の形状や加工性との関係から圧延温度の制御が研究されている。

ロール肌荒防止、摩耗量の低減により1回のロール圧延量を増加させるために、ロール冷却水が増量され圧力も10kg/cm²程度から50~60kg/cm²に高圧化した。また、熱間圧延油も試用段階から実用化され、ロール原単位向上と電力節減に効果をあげている。

(e) 巻取機

PIWが増加し、厚物の高張力鋼が巻取られるようになって、マンドレルやピンチロール、ラッパーロールなどのモーター容量が増大した。

巻形状向上のためにマンドレルセグメントの改造やサイドガイドにディスクローラを組み入れたり、仕上最終スタンドとピンチロールあるいはマンドレル間のテンションの理論的検討などがおこなわれた。特に、厚物対策としてピンチロールやラッパーロールの配置や押付力が研究されている。

一方、薄物はランナウトテーブルでの冷却距離が短くてもよいので、ランナウトテーブルのトラブル防止のため、あるいは通過時間の短縮のために仕上圧延機の近くに薄物用の近接巻取機を設置しているミルもある。

(f) ロール

大型のストリップミルが相次いで新設される一方、既存ミルも増強されてミルの生産能力が急速に高くなった。こうして、圧延作業での使用条件が過酷になる一方、製品の表面性状や板プロフィールについての需要家の要望も厳しくなりロールの良否がミルの成績におよぼす影響度はますます大きくなった。このため、ロールの耐摩耗性、耐肌荒性が改善されると共に、ロール事故の防止対策や原単位低減対策が実施された。

粗圧延機の前段ロールは強度と耐摩耗性および耐ヒートクラック性が要求されるが、最近特殊鋳鋼ロール(HS35~40)にかわってHS50~55の複合鋳鋼ロールが使用されている。また、粗圧延機の後段スタンドや仕上前段スタンドは強度よりも耐肌荒性、耐スリップ性が重視されるため、高合金グレーンロール(HS69~75)

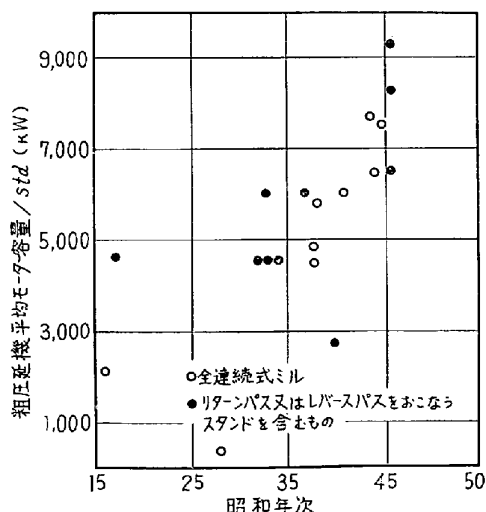


図4-3-5 粗圧延機の建設時期とモーター容量

やダクタイルロール (HS 69~75) にかわって HS 47~53 のアダマイトロールが一般化した。最近では、耐肌荒性や耐熱性の向上のために鑄造組織の改善や高 Cr ロールの試用がおこなわれている。

仕上圧延機の後段ロールは板プロフィールや表面性状におよぼす影響が大きいので摩耗性の少ないことが重視される。従来より、中抜き高合金グレーンロール (HS 77~84) が使用されてきたが、最近では硬度低下の少ない遠心鑄造の高合金グレーンロールが一般的である。また、スキンパスロールは鋼板の表面粗度や光沢に直接影響するので高硬度のチルドロールや鍛鋼ロールが使用され始めた。

バックアップロールは HS 55~65 の特殊鑄鋼ロールや鍛鋼スリーブにかわって HS 68~73 の複合鑄鋼ロールあるいは複合鍛鋼ロール、複合スリーブが使用され、ロール組替周期が 1.5~2.0 倍長くなった。

原単位低減対策として、有効径の拡大、ベアー差の拡大、研削基準の見直し、ロール冷却水の増強、熱間圧延油の使用、ロール材質の変更などがおこなわれ、過去 5 年間に粗ワークロールで 30~70%、仕上ワークロールで 20~40% ロール原単位が減少した。

(g) 精整設備

コイルから剪断される熱延鋼板は大部分が 7.0mm 以下であった。しかし、近年 12 mm 以上の厚物のコイルカットがおこなわれるようになり、厚物剪断理論が研究され、設備も大型化した。装入設備やレベラーには特に考慮がはらわれている。

また、鋼板形状に対する需要家からの要求、特に巾方向反り (C 反り)、長さ方向反り (L 反り) や再剪断後の形状に対する要求が厳しくなるにつれ剪断レベラー理論が急速に進歩した。

ホットスキンパスミルも高鋼力鋼やコイル単重の増加にともなって 4 High が多くなりモーター容量が大きくなると共に、応答性の良い油圧圧下装置やロールベンディング装置が採用される例が多くなった。また、ホットスキンパスミルの機能も従来の形状矯正から製品検査の比重が大きくなり、板厚計、巾計、コイル分割装置などが装備されるようになった。

(h) 計算機制御

ホットストリップミルへの計算機制御の導入は 1960 年代になって外国で実施されたが、わが国でも 1966 年頃から試みられるようになり、生産性の向上、省力化、品質の向上などに顕著な成績をあげた。特に、大型で高速化した新鋭のホットストリップミルではその運転内容や管理項目が複雑多岐になると共に、高品質、省力化、迅速な情報処理などの要求が強まり計算機制御は不可欠となった。

現在では、国内の 19 ミルのうち 15 ミルに計算機制御が導入されているが、新設ミル 8、既設ミルは 7 となっている。

計算機制御システムは各設備の自動運転システムと、これらの制御情報を伝送したり、技術管理情報を収集処理するオンラインシステムとから構成されている。前者には圧延機の開度設定、速度設定などの位置設定制御およびシーケンス制御と、抽出ピッチや巾および厚み、温度

などのシステム制御が含まれる。後者にはトラッキング、オペレーターガイダンス、工程管理システム、データロギングなどが含まれる。

さらに、新鋭製鉄所の場合には製鉄所全体を制御する総合管理システムがあり、ホットストリップミルのオンライン計算機と結合している。

このような計算機制御の導入により、次のような成果があがっている。

- i. 生産性の向上 仕上プリセットやミルペーシングによるアイドルタイムの最適化とミスロールの減少によって歩留りと稼働率が向上した。特に、能率への効果は大きく既設ミルで 1~3%、新設ミルで 2~6% 向上した。一方、燃料、電力、用水などの原単位も減少した。
- ii. 省力化 自動運転や工程管理、品質管理の省力化により新鋭ミルでは要員が半減した。
- iii. 品質の向上 厚み、巾、温度などの制御システムにより品質精度や検定歩留りが向上した。

以上のように、圧延ラインについては計算機制御の導入が急速におこなわれ大きな成果をあげたが、精整、製品工程やロールショップなどの付帯設備への適用が今後の課題である。

(i) 省力化

近年のミルは生産能力が強大になったばかりでなく、図 4-3-3 に示したように作業要員が非常に少ない生産性の高いミルである。これらの省力化は大別すると 4 項目に分かれる。

第一はラインの単体機における自動化、無人化であり、加熱炉装入装置、圧延機の計算機によるセットアップ、クロップシャワーの自動化、サイドガイド設定の自動化、ロール組替装置、計算機による巻取温度制御、巻取機の自動制御、自動コイルマーキング装置、自動結束機などが含まれる。第二は各単体機の計算機を結合して全ラインを管理すると共に、中央の大型計算機を直結するオンライン計算機を設置することによって工程要員の省力化および技術情報管理の省力化をおこなうこと。第三は付属設備におけるものであり、ロールショップのチョック嵌替装置、ベアリング洗滌装置、ロール自動研削、チョック付研削およびオイルセラーの無人化や自動給油装置などである。第四は異種作業職場要員をプールして各々の待ち時間を利用することで、例としては、圧延職場とオイルセラー職場およびクレーン職場のプール化などがある。

(2) 冷間圧延

(a) コールドストリップ

(イ) 緒言

わが国における冷間帯鋼生産高は図 4-3-6 に示すように、10 年間で 3 倍にも達する急速な伸長を遂げている。このような伸びは、昭和 39 年にはタンデム冷間圧延機が 11 基、レバース冷間圧延機が 18 基であったものが、今日ではタンデム冷間圧延機が 23 基、レバース冷間圧延機が 23 基と、高速タンデム圧延機を中心とした意欲的建設によるものである。その大半が新機軸を有する国産設備であることは特筆に価するが、かかる冷延帯鋼生産の進展を一言でいえば、高速化、連続化、大型化、および

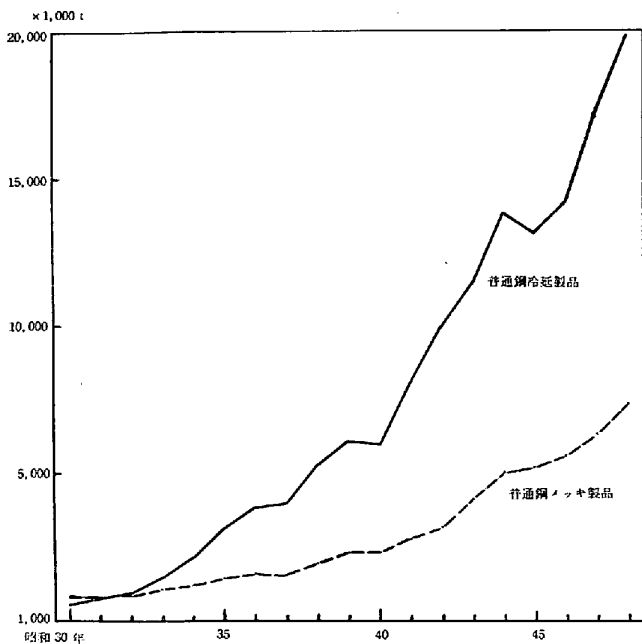


図 4-3-6 わが国におけるコールドストリップ
ミルによる冷延帯鋼の生産高推移

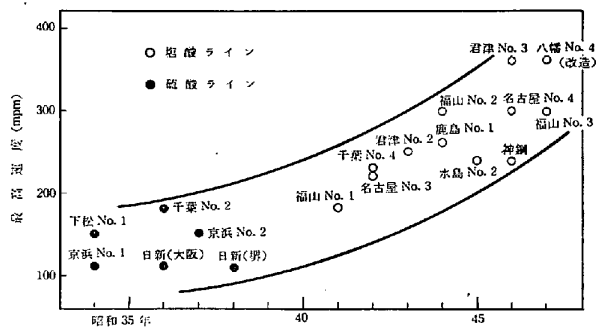


図 4-3-7 酸洗ラインの建設時期と最高速度

高精度化にあったといえる。さらに、需要家からの厳しい要求に応じて、高品位の製品を送り出すことともに、社会経済環境の変化にともない、省力化、省資源、環境保護の要求が加わり、発展の方向も極めて多岐にわたってきた。以下冷延帯鋼製造工程ごとの進歩と、将来に対する展望について述べる。

(ロ) 酸洗技術の進歩

(i) 概 論

今日の高生産能力酸洗ラインの背景として、図 4-3-7 のように著しい高速化がみられ、最高速度 400 mpm も可能になった。高速化にともない、6 槽 (165m) の酸洗槽を有する長大ラインも現われている一方、完全実用化には至っていないが、メカニカルデスケーリングや、化成処理による酸洗高効率化の実験成果も報告されている。

自動化、省力化の進歩も近年著しく、バンド処理、結束、溶接、スクラップ処理、ハンドリングの自動化に加えて、多方面におよぶ計装設備の導入は計算機制御を可能とし、新設ラインでは既に実績化されている。中でも従来より困難とされていた濃度の自動制御についても、

国産技術により電導度—比重から測定する方法が開発され、安定操業に成功し注目を集めている。今後計算機を含めたダイナミックコントロールシステムの開発が、残された課題といえよう。

また、年々厳しくなる品質要求に対し、ループカーの発達およびテンションリールの採用により、コイルスリップ等の酸洗品質トラブルは一挙に解消し、今日の新設設備では常識化されている。一方、酸洗鋼板検定およびストリップの中間検定ラインとして、超音波探傷器 (UST)、巾計、クラウンメーター、疵検出器の設置も、新しい動きとして注目される。

(ii) 塩酸化

ストリップ表面品位の飛躍的向上に、塩酸酸洗の寄与するところは大きい。塩酸酸洗は、品質のみならず多くの点で硫酸酸洗より秀れており、最近建設された設備はすべて塩酸酸洗である。また旧設備も塩酸化へ移行している。耐酸耐熱特殊材料の開発、耐酸ポンプの性能向上、廃酸量削減を狙った間接加熱器などの周辺技術の進歩も見逃すことはできない。酸洗操業条件の確立により、塩酸酸洗はストリップ酸洗の主流として位置づけられるに至った。特に廃酸処理の容易さは、環境規制に対応するものとして塩酸化への指向を強いものにした。

表 4-3-3 酸 洗 法 の 比 較

(ライン数/比率)

	硫 酸	塩 酸	計
昭和 40 年	18/100	0/0	18/100
昭和 49 年	11/26.2	31/73.8	42/100

(iii) 廃酸処理

塩酸回収装置の基本型として、ルスナー (噴霧焙焼) とルルギ (流動焙焼) があるが、国産の改良型も数多く開発され、今日ではほぼ完全に確立された技術と評価できる。回収装置は、塩酸酸洗の必須付帯設備として一般化されている。

弱酸処理についても設備改良が進められ、厳しい環境基準に十分満足し得る処理が可能になっている。更にホットリンズタンクカスケード化による弱酸廃液量の削減、排煙性状の改善に関する試行なども、最近の目新しい動きの一つである。

(ハ) 冷延技術の進歩

(i) 概 論

最近の冷間圧延機の進歩は著しく、図 4-3-8 に示すように、特に 6 スタンドタンデム圧延機の出現以来、2,000 mpm 以上の高速化が進み、牛脂ベース圧延油の循環給油方式による 2,500 mpm の最高速度圧延実績を達成するに至っている。

自動化の面でも入出側コイルハンドリング設備の完全自動化に加えて、自動通板装置の完成により、直接人手に触れることなく高速での通板作業が可能となった。特に昭和 46 年に世界で始めて建設された完全連続の 4 重 5 スタンドタンデム冷間圧延機は、この意味でも生産性の飛躍的向上をもたらした。連続圧延機は、他にもコイル

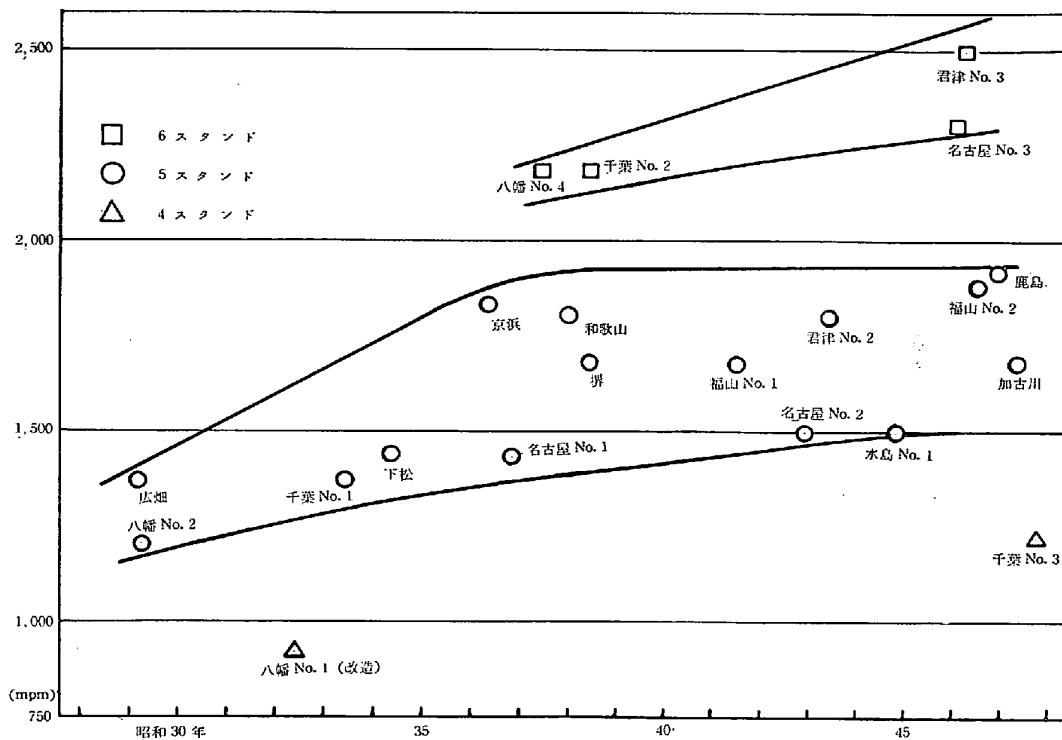


図 4-3-8 タンデム冷間圧延機の建設時期

表 4-3-4 最近稼働した冷間圧延機の設備仕様

ミ ル 名 称	スタン ド 数	圧延最高 速 度 (mpm)	取扱最大 コイル (t)	圧延油 給 油 方 式	油圧 圧下	制御系の SCR化	B U R 軸 受	計算機 の導入	稼働年月
川 鉄/千 葉 No. 3	4	1220	42	循環	○	○	#1, #2 STD ローラー #3, #4 STD 油 膜	○	昭和 47.9
神 鋼/加古川	5	1680	50	"	○	○	ローラー	○	47.3
住 金/鹿 島 No. 1	5	1812	45	"	○	○	油 膜	○	46.11
日本鋼管/福 山 *No. 2	5	1830	32	"	○	○	"	○	46.6
新日鉄/名古屋 No. 3	6	2300	25	直接	○	○	"	○	46.1
新日鉄/君 津 No. 3	6	2500	45	循環	○	○	#1, #2 STD ローラー #3-#6 STD 油 膜	○	45
川 鉄/水 島	5	1500	50	"	○	○	油 膜	○	44.10
新日鉄/君 津 No. 2	5	1800	60	"	○	○	"	○	43

* 連続ミル

トップおよびエンドのオフゲージの著しい減少やロール事故減少による品質、原単位の向上など多くの利点をもち、今後の冷間圧延機の新しい在り方を示唆するものとして高く評価される。またロール組替台車の発達、遠隔監視操作技術の進歩など周辺設備の自動化も、省力化推進に大きな貢献をしてきた。

冷間圧延機の技術的進歩で最も著しいのは制御技術であり、特に油圧圧下ミルを中心とした発展は注目される。油圧圧下ミルの出現で、速い応答性に加えてミル剛性可変となり、理論的解析結果に基いた剛性配列で従来にならぬ好結果を得ている。SCR (Silicon Controlled

Rectifier) 制御の圧延機駆動系への導入は、応答性、安定性の大巾な改善をもたらし、油圧圧下と併せて、数多くの AGC (Automatic Gauge Control) ループを可能とした。バックアップロール軸受のローラーベアリング化による油膜変動の解消が加わり、圧延方向の板厚制御はほぼ完成の域に達した。

形状制御手段としてのロールベンディング法は早くから実用化が進められ、今日の圧延機では常識化されている。これに対し、検出器の開発はやや遅く、最近ようやく実用化の報告が見られるようになったが、安定した自動制御システムまでは、未だ一部に問題を残している。

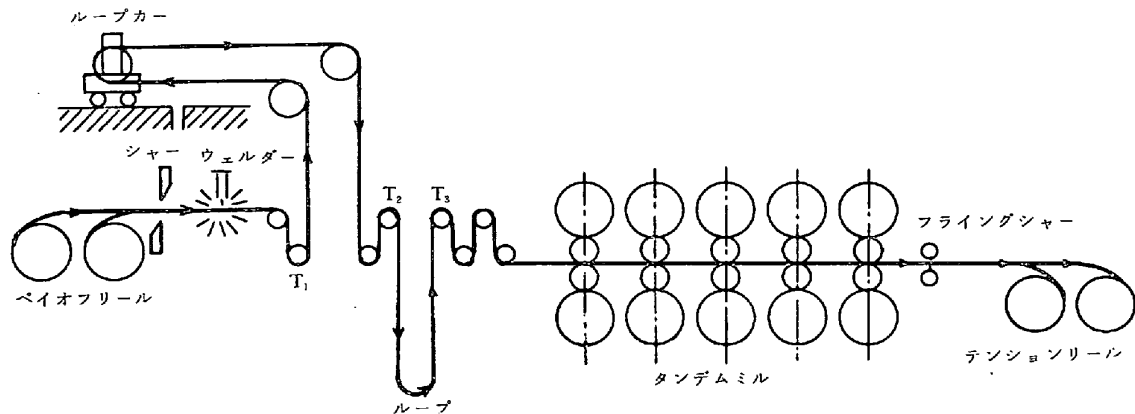


図 4.3.9 完全連続式ミルの概要図

圧延機制御の中でも計算機制御の発達は特筆すべきである。1960年代後半から、タンデム冷間圧延機に計算機が導入されて以来、各種数式モデルの開発、計算機の大型化が進み、データロギング、APC (Automatic Preset Control)、マイナーループの最適化制御など広範囲の制御が可能になった。また計算機の性能および信頼性の向上は DDC (Direct Digital Control) を可能にするなど計算機制御の進歩は、品質の安定、管理情報の高度化、集中運転方式による省力化など、冷間圧延機の近代化を画期的なものとした。

(ii) 圧延油の進歩

圧延機の高速化に対して圧延油の寄与するところは大きい。直接給油方式から循環給油方式に切替えて、ぶりきなどの表面性状を損うことなく、速度向上効果を挙げた実績や、牛脂ベース圧延油の循環給油方式で 2,500mpm の実績を得たことは、重要な成果である。これら循環給油方式での実績の背景には、汜過効率の高い高性能フィルターの発展がある。また環境規制に伴って含油廃水処理技術は急速に進歩したが、循環給油方式への移行によって廃水量を削減することは今日の趨勢である。

一方、厚物ミルクリーンシート圧延油としては、鈹物油ベース圧延油が中心であったが、最近では鹼化価が 100 を越えるミルクリーン性圧延油が開発されている。給油システムの改善、前後工程作業の改善の効果も無視できないがこれら一連の成果に対し、ロールギャップ下での潤滑の理論的解析、エマルジョンの挙動解析などの進歩に負うところが多い。圧延油に対する高度の要求に応えるものとして、一部実用化が試みられている合成圧延油の開発が残された課題である。

(iii) ロールの進歩

周辺技術としてロール製造・管理技術の進歩も見逃すことはできない。厳しいストリップ表面品位の要求に加えて、圧延機の高負荷、高速化に対して、耐摩耗性、耐事故性に秀れた高 Cr 系ロールが開発され、表面硬度 Hs 100°, 硬化深度 30~50mm の仕様レベルで安定した実績が得られるようになった。ロール製造方法に関しても、VAR (Vacuum Arc Remelting), ESR (Electro Slag Remelting) が開発され、ロールの清浄度は飛躍的に向上した。

バックアップロールについては、耐摩耗性を目的に

Hs 68~72° の鍛鋼高硬度ロールが開発され、寿命の大幅な延長を見るに到った。また偏心修正技術、焼炭技術の改善によるスリーブロールの普及度は、AGC の発展とともに、より一層強くなった。さらに、ロールの事故防止を支えるものとして、化学エッチング、UST、渦流探傷などのロール探傷技術の進歩を忘れることはできない。

(iv) DCR 作業 (Double Cold Reducing)

1957年頃から米国において安価なアルミ缶の進出が始まって以来、米国鉄鋼各社ではこれに対抗できる新製品の開発を進めてきたが、1960年に U. S. Steel 社にて Tin Last 法による薄くて強い DCR ぶりき (Double Cold Reduced Tin Plate) が開発された。その後ビール缶および炭酸飲料缶を中心に目覚ましい進歩を遂げ、最近では米国で使用されているぶりきの 50% 近く、ティンフリースチールの大半が DCR 化されている。

わが国でも昭和38年から本格的な製造を開始し、主に米国への輸出用として年々着実な伸びを見せてきた。数年前から国内炭酸飲料缶に DCR ティンフリースチールが用いられ始めており、今後の伸びが期待される。

DCR 製品の製造にあたっては、通常の冷間圧延・焼鈍後に 2 回目の冷間圧延を行ない、そのまま製品ラインへ送られるため、材質的には表 4.3.5 に示す AISI 規

表 4.3.5 1973 年版 AISI 規格

材 質	硬 度 (HR30T)	引 張 力 強 さ (lbs/in ²)
DR-8	73±3	≥80,000
DR-9	76±3	≥90,000
DR-9M	77±3	≥95,000
DR-10	80±3	≥100,000

格を満たすと同時に、形状・表面および板厚などについてはぶりきおよびティンフリースチール原板として十分な品位を得る必要がある。しかも極薄であるだけに、経済的・量的にアルミに対抗し、安定した供給を確保するには、高速・高能率 DCR 圧延作業を確立する必要がある、総合的な技術開発が進められてきた。

圧延油およびその供給システムについては、一般の冷間圧延油と同様な高い潤滑性を有するとともに、モットリングの無い美しい表面のストリップを得るため乳化安定性のよい専用のものが開発され、現在では牛脂系の圧延油を用いた循環システムが主流となっている。

形状に対してはロールクーラント、ロールベンダー、イニシャルロールクラウンなどのクラウンコントロールを用いて調整しているが、製缶ラインの高速化・無人化に伴い DCR 製品の形状品位に対する要求は益々厳しく、製鋼以降各工程のきめ細かな管理を行い素材の改善が図られてきた。

機械的性質については硬度、引張り強さの他、製缶性の点から SBI (Spring Back Index) の管理も必要となったが、これは DCR 圧延での圧下率および素材の性質に大きく左右されるものである。さらにはネックドイン缶の出現により、DCR 製品にも絞り加工性が重要となり、絞り性のよい連続鍛造材を用いた DCR 製品が開発された。同時に連続鍛造材は材質が均一であるため、形状に対しても大きな効果が得られている。

このような圧延技術の進歩により、現在わが国においては高品位な DCR 製品を一般の冷間圧延機なみの 2,100 mpm の高速にて製造しているミルも有り、今後とも DCR 製品の伸びは大いに期待できるが、これに競合するものとしてアルミの他にぶりきの DI (Deep Drawing & Ironing) 缶が工業化されているのは注目すべきである。

(二) 焼鈍技術の進歩

(i) 概 論

従来タイプのバッチ式焼鈍炉やぶりき原板用連続焼鈍炉では、高能率・高品位・省力化を狙った設備・操業改良が奏効し、極めて高い水準に到達した。

すなわちタイトコイル焼鈍においては、輻射管式炉に比べて熱効率の高い直火式炉の普及、インナカバー・ディフューザーの効率化改良、ドライシール法など、設備面の改善に加えて、最冷点管理法 (コイル内最冷点の推定により再結晶完了までの加熱時間を最短にする操業法) が開発され、計算機制御と結びついて生産性の大幅向上に寄与している。

オープンコイル焼鈍においては、脱炭・脱窒などガスアロイイングの終点成分調整が操業的に確立され、たとえば製品炭素 $30 \pm 10 \text{ ppm}$ といった高品位の製品が、安定かつ能率良く得られている。

更に連続焼鈍においても、高速・高能率ライン化が進み、最高速度 610 mpm、ブリキ原板サイズで 60 t/hr の能力が可能となっている。他方連続焼鈍材の軟質化の試みも素材・設備両面から進められており、同一素材からの各種テンパー材作り分け範囲が拡大されてきた。

なお周辺技術では、冷延鋼板の防錆は新しい問題ではないが、仕掛短縮・雰囲気管理・水質監視などにきめ細かい努力を積み重ね、高温多湿のわが国において錆格落 0.1% 以下の高水準維持も可能となったことは、特筆に値するものと考ええる。

(ii) UAD (Unitized Annealing Department)

ベル型バッチ式焼鈍設備の生産性の限界に対して更に飛躍的な向上を得るため、バッチ炉の超省力化が開発さ

れ、一方では焼鈍の連続化ライン集約化の試みがなされた。前者は UAD、後者は薄板連続処理ラインという形で成功、注目を浴びつつ実稼働中である。

昭和47年世界で2番目に稼働開始した国産 UAD は、

- ④ パーチカルルーズリコイルリングライン、
 - ⑤ トランスファーカー (コイル運搬専用台車)、
 - ⑥ 角型定置式スピードサイクルコイル焼鈍炉、
 - ⑦ パートホートタイトコイルリングライン、
- より構成されており、設備的には、
- ⑧ クレーンが不要、
 - ⑨ 炉定置式でシーケンス自動化が比較的容易、
 - ⑩ パートホート方式の利用 (ルーズコイルから直接ダウンエンドタイトコイルを巻き取るもので必要に応じて途中に調圧その他処理を組み込める)、
- などを特徴としている。

ベル型バッチ式焼鈍設備と 60,000 t/month 規模でのコスト比較をすると、電力・燃料・用水費はほぼ等しいが、要員は $\frac{1}{2}$ 以下で高い生産性を物語り、またインナカバーなどを使わないので修繕費も非常に少ない。

(iii) 薄板連続焼鈍処理ライン

高加熱速度、短時間均熱、急速冷却という従来の連続焼鈍条件下では、十分な結晶粒成長と軟質化が望まれず、加工用鋼板の連続焼鈍は困難とされていたが、最近になって二つの方法により、この実用化が成功している。一つは、素材の成分条件、熱延条件を適正に選定し、再結晶後過時効処理する連続焼鈍炉を有し、電解清浄、調質圧延、検査精整まで一体化させた世界初の薄板専用一貫処理設備が稼働を始めているものである。また一方、高温からの急冷で過飽和に固溶させた炭素を、低温均熱処理により短時間に析出させる、ジェルファニーリング方式の軟質材連続焼鈍法がぶりき原板との兼用ラインにおいて工業化されている。

このような連続処理ラインは、従来のバッチ式設備系列 (70,000 t/month 想定) に比べ、

- ① 工程集約による処理時間の短縮 (従来10日を1日——実質10分——に短縮)
- ② 所要面積節約 (約6割減)、建設費節約 (2~3割減)
- ③ 要員減 (従来のバッチ式の $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{4}$ に省力)
- ④ 品質向上 (歩留りロス半減、平坦度向上)
- ⑤ 燃料原単位向上 (従来の約8割に減)
- ⑥ 中間在庫量の圧縮 (従来の9割減)
- ⑦ 新製品が期待される (高張力鋼板等)

のごとく多くのメリットを有するとされている。なお最近ではアルミキルド深絞り鋼板の製造も可能であるとの報告もあり、今後完全連続圧延機とともに冷延鋼板製造体系の中心をなしてゆくものと考ええる。

(ホ) 精整技術の進歩

(i) 概 論

調質圧延の伸び率制御は、油圧圧下/定圧制御と自動伸び率制御によりほぼ完全に自動化され、 $\pm 0.1\%$ の精度が得られている。

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多く、有力な形状矯正手段であるとされる。これは圧延時の自動形状制御とともに、一つの方向として注目すべきであろう。

精整工程の検査測定作業は近年急速に自動化が進み、オンライン情報処理とともに省力化に貢献している。

冷延鋼板のコストに占める梱包費用の割合は大きく、省力対策および、省資源対策の両面から梱包作業の機械化と梱包様式の合理化簡略化が開発推進されている。

精整工程で固体潤滑剤を塗布したプレ潤滑鋼板は、需要家での塗油作業省略による公害衛生対策、およびプレス性の改善を狙い開発されたもので、今後の利用拡大が期待される。

(ii) 検査測定作業の自動化

形状検出器としては、接触型の分割ロール式、非接触型の磁歪式、ITV 利用光学式、磁気たわみ式、強制振動同期積分式などが検出器単体で実用化され、更に改善しつつ自動形状制御化への試行がなされている。

疵検査に関しては内部欠陥検出が UST によって実用化され、光学式表面疵検出器は微小疵など一部の疵の検出に不完全な点もあるが、高速無人検査への手段として実用化されつつある。

寸法の測定として、従来の厚み測定以外に切板の幅および長さは光学的に自動測定可能であり、コイルの長さ測定も接触ロールの他に着磁式長さ計により精度よく測定することができる。

その他、透磁率や残留磁気、 β 線反射などを利用した硬度の連続自動測定が実用化されており、表面粗度や塗油膜厚の自動測定化開発も進められている。

(iii) 梱包の合理化

合理的梱包様式を追求した結果、木製スキッドのステール化、ポリエチレンフィルムの利用、コイルのエッジシールによる紙梱包の省略などが実施・拡大されている。

梱包作業の機械化はまずフープ結束機に始まり、中間工程におけるコイル仮締作業は完全自動化も可能となった。ついでコンベヤ上で梱包する流れ作業方式が導入され、生産性向上にともなう大幅省力化が実現した。さらに紙折り（紙巻き）作業の自動化、シュリンクフィルムの利用などが開発され、より高度の機械化梱包ラインが期待される。

(へ) 材質の進歩

(i) 概 論

最近10年間の材質の進歩は特にその前半において著しいものがあつた。すなわち自動車工業などの需要家から材質上の強い要望があり、同時に成形性に関する力学的、冶金学的理論がほぼ確立したこともあって、オープンコイル焼鈍法や真空脱ガス法などの新技術を利用した新成品が次々と開発された。また、鋼板表面にリム層を有する Al キルド鋼の造塊法が一般化され、リムド鋼の表面美観さと Al キルド鋼の加工性を具備した鋼板製造が可能となった事は特記される。

昭和45年以降、薄板生産における連続鑄造法や連続焼鈍法など設備の連続化が図られたが、その材質上の欠点はすでに克服され、均質性をはじめとする品質上の利点が評価されつつある。なお、最近の安全・無公害化の動きは材料に必要な特性を少なからず変え、たとえば車の衝突時に乗員の安全を確保するため、バンパーやドアに使用される 40~70 kg/mm² 級安全車用高強度冷延鋼板な

どの開発が強力に進められている。

(ii) 脱炭・脱窒鋼板

オープンコイル焼鈍法による脱炭・脱窒技術が急速に進歩し、特に従来困難であつた脱窒速度の向上が可能となった。成分系、圧延条件を適正に管理したリムド鋼を脱炭・脱窒すれば、張り出し性、耐時効性が向上し、同時に深絞り性も付与される。この脱炭・脱窒鋼板は厳しい加工性を要求されるフェンダー、ノーズパネル材などの自動車用鋼板あるいは、この数年間急速に需要が伸びたバスタブなどのホーロー用鋼板として広く使用されている。

(iii) 超深絞り用鋼板

真空脱ガス法で脱炭処理した溶鋼に Ti を添加して残余の C および N、S などの不純物を Ti 化合物として完全に固定した鋼板は従来の Al キルド鋼やリムド鋼とは異質の集合組織を示す。適当な製造条件を選べば深絞り性を表わす r 値は理論限界値である 2.4 以上まで向上する。この超深絞り用鋼板は他鋼種では成形性がむずかしい自動車部品などに使用されている。

(iv) 連続鑄造鋼板

連続鑄造ではリムド鋼の製造が困難で、これにかわるものとして Si と Al で溶鋼の脱酸度を調整したリバンド鋼の開発がなされ、Al キルド鋼とともに連続鑄造鋼板の代表的な鋼種となっている。連続鑄造鋼板は当初表面疵やリバンド鋼が硬質という問題があつたが、現在ではほぼ解決され、均質で内部欠陥の少ない鋼板が得られつつある。今後薄板の形状・クラウン・材質の均一性に対する厳しい要求から全品種の連続鑄造化が段階的に実現するものと思われる。

(ト) 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著しい進歩について述べた。ここで私見を交えてではあるが、今後の動向についてふれてみたい。

酸洗では高生産性に対処すべく、効果的脱スケール法、短ライン化、計算機による総合ダイナミックコントロールシステムの完成および廃酸のクローズドシステム化が挙げられよう。

冷延では形状制御が残された課題として検出端および自動制御システムの開発が精力的に進められ、実用化も間近い。その中でクラウン制御と形状制御の同時可能な圧延機開発の動きは注目される。また計算機による圧延作業の全自動化、プロセスラインとの結合が今後の趨勢であろう。

焼鈍においてはコールドストリップ工程中、熱使用の最も多い点を受けて、省エネルギー対策の推進、UAD や連続焼鈍法のごとき工程集約技術の積み上げ拡大が行なわれるであろう。

体質改善の最終段階として精整工程でも機械化、計装化、集約化、高速化が急速に進み、生産性の高いプロセスラインへの転進が図られるものと思われる。

(b) ステンレス鋼板、高炭素鋼板、珪素鋼板

(イ) ステンレス鋼板

わが国におけるステンレス鋼板の大量生産化は昭和30年代に始つたが、特に冷延鋼板は昭和40年に約18万 t 生

産されたものが昭和48年には約60万tの生産を記録するに至った。

その生長の理由として、ステンレス鋼の特性が耐久消費材の材料として適合していることと、いわゆるストリップ方式による製造技術が更に高能率化したことによると考えられる。ゼンジミヤミルと連続焼鈍酸洗方式がその基幹をなすものであるが、過去10年間に技術改善の指向したところを列記すると

- (i) 製鋼—熱延—冷延工程の一貫製造体制の確立。
- (ii) 圧延機および各種連続ラインの高速化。
- (iii) 広幅ゼンジミヤ圧延機(5'幅)の完成。
- (iv) 環境改善のための新酸洗法の採用。
- (v) 省力化のための設備改善。

などが挙げられる。これらの生産設備の進歩については鉄と鋼第59年第13号に詳しく紹介されている。一方、これらの高能率化された設備は特性の異なるCr系、Cr—Ni系の処理はもちろん、原子力用、公害防止機器用など時代の要請によって開発された新鋼種もあわせて製造し広い範囲の生産を行なうに至っている。

(i) 一貫製造体制への移行

昭和35年広幅ステンレス鋼スラブ連続機が世界に先がけてわが国に設置されて以来、パウダキャストや浸漬ノズルなどの技術開発、熱間、冷間圧延技術の改善によってCr—Ni系の連続に引続きCr系の実用化がなされた。最近では鍛造組織の改善のために電磁攪拌の採用もその緒についた段階である。また一方各種の脱ガス処理、転炉による溶製および真空精錬設備、AOD炉などが普及した。これらの新しい技術によって気泡の減少、大型介在物の低減が図られ、製品の疵減少、品質改善、極低炭級鋼種の製造に効果を挙げた。

他方、ホットストリップミル以外にステッセルミルやプラネタリミルの採用によって一貫製造体制が確立されるようになった。

(ii) 冷間圧延の高能率化

加工硬化の大きいステンレス鋼を能率よく圧延するためには小径のワークロールとミル剛性の大きい圧延機を必要とする。そのために主として20段ゼンジミヤミルが使われてきたが、更に生産能力を飛躍的に増大させるために、昭和44年にはタンデム型ゼンジミヤミルが、昭和46年には5フィート幅の圧延機が出現するに至った。これら最近の圧延機の特長はコイル単重の増大、圧延の高速化、巻き取り張力の増大、操作の自動化、機械化などが積極的に取り込まれていることである。これらを具現するために圧下装置、圧延潤滑油および潤滑方式、巻き取り機構に大きな改革が行なわれた。すなわち、

① 圧下装置に応答時間の短い電子油圧サーボバルブ方式が開発されコンピュータと組み合わせることにより高精度の自動板厚制御方式が実現した。

② ソリブルオイルの使用により冷却能力が向上し、600m/minの高速圧延が可能となった。そのためにベアリングの潤滑にオイルミスト法が採用されるようになった。

以上のようにステンレス圧延用のミルは設備面で独特の発達を遂げているが、ステンレス鋼の特性からの作業上の問題は残されている。すなわち

- 1) Cr—Ni系の加工硬化特性のため、一段圧延に限界があり、薄手材は中間焼鈍を必要とする。
- 2) 高速圧延の際の焼付きによる疵発生。ソリブルオイルはこの点を改善出来るが、表面光沢を損じる。
- 3) コイルのスリップ防止のための紙の使用。
- 4) 圧延材の形状改善と形状検出端の開発。

などが今後の開発に期待されるものである。

(iii) 焼鈍炉の高速化、省エネルギー化

Cr—Ni系は1000°C以上の高温焼鈍を必要とし、Cr系は800°C以上の温度で焼鈍され、焼鈍後の冷却もそれぞれ急冷と徐冷と条件を異にする。ステンレス鋼の焼鈍炉は炉外にアスベストロールを備えたカタナリ式が採用され、この炉を2基並べて使用されてきた。近年、より高速の焼鈍を行い、熱効率を改善するために、アスベストロールを使用しない堅形炉や、アスベストロールを炉内に内蔵し炉の分割部を外気から遮断した一体炉も実用化された。

(iv) 酸洗の高速化

従来のHNO₃やHFなどの強酸を主体とした酸洗法は廃液の処理にかなりの設備と管理を必要とする。そのために中性塩電解法であるRuthner法の大型設備が国内で実用化され公害問題の改善に役立った。またKolene法(溶融アルカリ前処理法)も酸洗の難しい高合金型のデスクレーンゲを容易にすると共に、一般鋼種の高速酸洗に役立ってきた。一方、これらの複雑な酸洗を必要としない光輝焼鈍炉も大型炉が設置され、4フィート幅のBA製品が出来るようになった。他方、この製品は独特の光沢を生かしクロムメッキ品の代替としても使用されるようになった。

(v) 精整作業の合理化

ステンレス鋼板の形状矯正作業もストレッチャーレベラーからテンションレベラー方式に変わり、フライングシャー、自動パイラーなどを同時にライン化することにより、大幅の省力化を行なってきた。

(vi) ステンレス鋼製造技術の特質と今後の方向

ステンレス鋼は高強度、耐熱性、耐食性、優れた美観を特長としている。反面、製造技術面では独特の圧延機、デスクレーンゲ、疵手入などを必要とする。わが国においては量産化のための設備技術が独特の発展を遂げ、世界の生産を記録するまでになった。しかし、基本的なプロセスには改革が少なく、普通鋼には見られない独自の作業も現存している。今後はこれらの工程を省略または効率化する作業法の革新が課題である。

(ロ) 高炭素鋼

高炭素鋼は一般に磨帯鋼の生産設備によっているが、近年は普通鋼の広幅冷延設備によって量産化されるようになった。作業面では材料の高硬度、製品厚みの高精度、溶接性、あるいは独特の焼鈍方式のために特別の方法をとっている。一般に“熱延—脱スケール(焼鈍)—冷延—焼鈍”の工程を通るが、製品が薄くなると冷延と焼鈍回数が増加する。

脱スケールは連続塩酸酸洗法が一般的となり、コイルの溶接は溶接溶接またはフラッシュバットによるが、後熱処理の必要がある。冷間圧延は4重レベリングまたは多段式の幅狭ミルが使用されてきたが、広幅ミルから

も製造するようになった。この場合は板厚精度の向上に特別の留意をする必要がある。最終製品はバッチ型炉で、目的に応じ軟化焼鈍と球状化焼鈍を行うが、焼鈍方法としては A_1 変態点直下の長時間焼鈍と A_1 変態点付近の2段焼鈍法の二通りがある。

(ハ) 珪素鋼板

珪素鋼板の生産量は、昭和48年には世界で約450万t、10年前の約2倍となったが、わが国は107万tと同期間に約4倍に達し、世界第一の生産国の地位を占めた。またわが国の珪素鋼板技術は近年めざましい発展を遂げ特に高級珪素鋼板の分野では完全に世界をリードしている。

珪素鋼板に要求される特性として材質面では、①磁気特性のすぐれていること、②機械的性質のよいこと、③加工性の高いこと、形状面では、①板厚精度の高いこと②平坦度のよいことなどが要求される。また、すぐれた絶縁皮膜を有することも上記特性に併せて非常に重要である。

(i) 珪素鋼板の圧延技術の進歩

珪素鋼板はSi量が多いほど脆くなるために長い間熱延珪素が主流であった。したがって冷間圧延製品が市場に現われたのは昭和20年代末期であった。

珪素鋼板はまた加工硬化しやすい材料であるので圧延機には小径ロールのゼンジミヤミルが使用される。圧延形状向上のための技術改善は主として次の分野で行なわれてきた。すなわち、①ゼンジミヤミル用 AGC 開発、②圧延油の改良、③パススケジュールおよびクラウンの改良などである。一方溶接技術の進歩でコイルの大型化による冷延能率の向上も図られ、最近ではタンデムコールドミルでの圧延も実施されている。

(ii) 珪素鋼板の焼鈍技術の進歩

従来の熱延珪素鋼板の熱処理設備は鋼板を積み重ねたボックス型焼鈍炉であった。しかし冷延珪素鋼帯の製造とともにハースローラ型連続焼鈍ラインが一般に使用さ



写真 4・3・1 世界最大級の珪素鋼板連続焼鈍ライン

れるようになり形状特性は飛躍的に向上した。当初のラインは通板速度も20~30m/min程度の低速であったが、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。写真4・3・1は世界最新鏡の焼鈍ラインで、ライン全長約400m、最高通板速度240m/min。月間生産能力約2万tのものである。高生産性ラインは①鋼板のトラッキング防止装置、張力制御②急速加熱技術、鋼板温度による温度制御、鋼板の均一冷却法③高速絶縁皮膜の塗布技術④連続磁気測定装置、自動表面欠陥検出器⑤プロセスコンピュータの採用など多種類の技術の組み合わせによって達成されたものである。

(iii) 高磁束密度方向性珪素鋼板の製造

電源トランスなどに使用される方向性珪素鋼板に要求される品質特性はますます高度となり、高磁束密度で鉄損、磁歪の低い材質が望まれるようになった。これに応じて高磁束密度方向性珪素鋼板がわが国で開発され、この材料の利用によってトランスの小型化、省エネルギー、省資源が図られるばかりでなく、近年特に問題となっているトランスの騒音低減に大きな効果をあげつつある。この製造技術は従来の2段冷延法とは違った全く新しい技術によるものであって、全世界の注目を集め、欧米各国へ技術輸出されている。

4.4 条鋼製造技術の進歩

4.4.1 形鋼

(1) 概要

わが国における形鋼部門での最近十数年における最も大きな特徴はH形鋼の需要の増加であろう。H形鋼は、欧米ではかなり早くから使用面での有利さが認識され、生産されてきたが、わが国においては昭和30年代後半に、ようやく生産体制がととのい、その後爆発的に需要が拡大してきた。従って形鋼圧延設備の新設・改造のほとんどがH形鋼の生産を目的としたものであつた。

(2) ユニバーサル圧延法の発達

H形鋼の製造をユニバーサル法で行なう考えは、古く19世紀末からあつたが、実際の設備に採用されたのは今世紀の初頭である。その後第一次大戦から第二次大戦にかけて主としてアメリカで発展し摩天楼・大橋梁などの建設に大いに貢献した。また欧州大陸ではH形鋼の生産が本格化したのは1950年代に入ってからであるが、わが国ではさらに遅れ1960年代になつてH形鋼生産を目的としたユニバーサルミルの稼働が開始された。

図4・4・1は国内形鋼圧延工場のミルラインの一部を紹介したものである。昭和30年以前は二重あるいは三重式圧延機を並列配置し1個のモーターで駆動する方式が主流であつた(a)。この方式ではカップリングを介して駆動伝達するためロール間隙セットの精度がおち、また組替時間が長くなるなどの欠点がある。この問題を解決するために仕上圧延機を単独駆動とした設備もある。

(b)は(a)のラインにユニバーサル圧延機をつなぎH形鋼の圧延を可能としたものである。(c)はH形鋼圧延工場の一般的な配置で、ブレークダウン圧延機と1台または2台の粗ユニバーサル圧延機および仕上ユニバーサ