

.....
技術資料

UDC 621.771.26

形鋼圧延技術の進歩*

京井 勲**

Recent Developments in the Shape Production

Isao KYOI

1. 緒 言

わが国内外の鉄鋼需要の増大と、一段ときびしさを増してくる品質要求あるいは国内外の競争の激化などに対処するため、既存生産設備の改善、合理化あるいは最新式高性能設備への更新などが強力に推進された結果、わが国の鉄鋼生産設備およびその技術は驚異的な発展を遂げている。

形鋼製品はその種類および寸法が多岐にわたっており、一般的には多品種少量圧延を余儀なくされ、さらには過去の需要伸びが比較的低調であったことなどによつて近代化、自動化が著しくおこなわれており、その技術は永年にわたる操業技術の蓄積と、現場作業者の技能によつて支えられてきた。しかし昭和36年以降のH形鋼圧延機としてのユニバーサル圧延機の導入と昭和40年以降のH形鋼の順調な生産拡大、とくにわが国産業界のめざましい発展や、国土開発の推進につれ、基礎資材としてのH形のここ数年間の爆発的な需要増大によつて形鋼の製造技術・利用技術は著しく進歩した。したがつて本格的なH形鋼の大量生産を契期として従来の経験的な圧延法からより効率的、科学的圧延法への脱皮へと強く指向されつつあるといえよう。表1は日本における主要H形鋼生産設備一覧で、とくに川崎製鉄(株)水島・中形工場および新日鉄(株)君津・大形工場の最新鋭H形鋼専用圧延機での連続圧延、高速圧延あるいは数々の最新技術の導入は注目に値する。一方合理化・省力化の著しくおこなわれていた精整・整理部門の改善も強力に推進され、工場全体のコンピューター制御による生産管理システムの確立が進められつつある。

2. 形 鋼 圧 延

形鋼圧延では、与えられた初期断面形状と仕上断面形状の間をある限定されたパス回数においてどのような孔

型系列・圧下スケジュールで成形するか、またロール孔型入、出口側にどのような形状と構造の誘導装置で被圧延材を誘導していかに安定した圧延を行なうか、などが重要な項目であつて、その製品品質と圧延能率は技術者と作業者の腕と勤とに左右されてきたといえる。形鋼の成形のしかた、形鋼各部分の鍛錬の加え方、圧延疵の発生防止などはすべて孔型内に生ずるメタル・フローに基づくものであつて、その非対称性、圧下配分の不均一性、ロール孔型側面からの強制的な幅拡がりの拘束、圧延中の材料曲がり変形などあまりにも複雑な諸因子の相互作用によつて孔型圧延特性の理論的な解明は非常に困難である。したがつて現在の孔型設計は経験的な要素が強く、試行錯誤的な面が多く残されている。しかし板圧延理論の進歩にともないプラスチックあるいは鉛によるモデル圧延などによつて孔型変形の基本的研究が各所で盛んに行なわれるようになった。孔型内のメタル・フロー、孔型圧延の投影接触面積の計算法の検討、孔型内の圧力分布の形状と接触面積形状の関連、孔型圧延の圧延荷重、圧延トルクの検討¹⁾など、基本的な孔型圧延特性が解明されつつある。とくにH形鋼についてはユニバーサル圧延機における変形機構、ウェブからフランジへのメタル・フローなどの理論的解析の研究が盛んに行なわれかなりの成果をあげている¹⁾²⁾。

さらにロード・セル、幅計、厚み計、長さ計などの検出端の開発・整備にともない、信頼度の高い熱間圧延資料も得られつつあり、今後形鋼圧延の理論的解明がさらに進展するものと考えられる。

2.1 孔型圧延からユニバーサル圧延への試み

H形鋼のユニバーサル圧延機による操業技術の進歩によつて、みぞ形鋼、I形鋼、レールなどの圧延にも、断面寸法精度の向上、鍛錬法の改善による製品品質の向

* 昭和48年3月29日受付

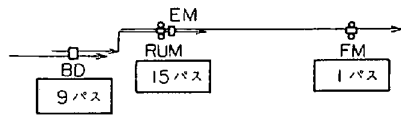
** 新日本製鉄(株)八幡製鉄所

表1 日本における主要H形鋼生産設備

会社名	製鉄所	工場名	建設年月	生産品種		能力()内 数字は二期 工事後 ($\times 10^3$ t/m)	備考	
				H形鋼 可能寸法 (mm)	その他		スタン ド数 (台)	全動力 (kW)
新日本製鉄	堺	大形工場	S. 36. 10 増強 (R ₁ E ₁ ミル) S. 43. 5	150×75 ~1000×400	Z, [シートパイル	85	6	23 850
川崎製鉄	葦合	条鋼工場	改 造 S. 36. 10	100×50 ~300×300		30	6	9 440
新日本製鉄	広畑	大形工場	S. 38. 3	150×150 ~1010×450	Z, [シートパイル	72	5	20 100
トビー工業	豊橋	圧延工場	改 造 S. 39. 5	100×100 ~200×200	Z, [30	13	13 070
新日本製鉄	八幡	二大形工場	改 造 S. 42. 6	150×150 ~300×150	Z, ~, φ シートパイル	30	10	11 210
〃	室蘭	条鋼工場	S. 42. 11	100×50 ~300×150	I	35	4	7 450
川崎製鉄	水島	大形工場	S. 43. 6	300×150 ~1010×450	φ, — シートパイル	80	4	17 300
日本鋼管	福山	第一大形工場	S. 44. 3	100×100 ~900×300	Z, シートパイル	75	4	16 600
新日本製鉄	八幡	軌条工場	改 造 S. 45. 6	200×100 ~400×200	φ, シートパイル	70	7	19 950
川崎製鉄	水島	中形工場	S. 46. 11	150×75 ~400×200	φ, φ	40 (70)	8	23 350
日本鋼管	福山	第二大形工場	S. 47. 3	100×50 ~350×175	φ, Z, [シートパイル	40 (85)	5	16 000
新日本製鉄	君津	大形工場	S. 47. 4	100×50 ~506×201	—	80 (145)	15	26 450

(注) 各社能力は品種構成に左右され一義的に相互に比較出来ない。

みぞ形鋼圧延のパススケジュール



孔型形状

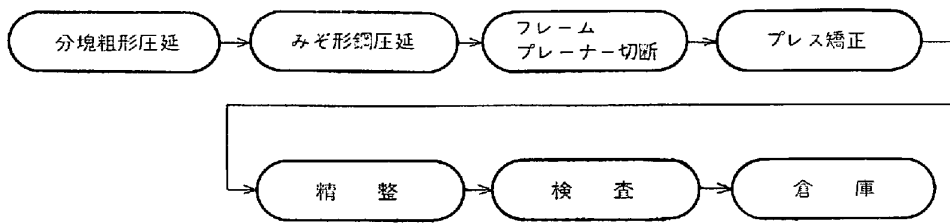
スタンド	孔型
分塊	
BD	
RUM	
EM	
FM	

図1 みぞ形鋼の圧延法の1例

上、表面性状の改善、ロール原単位の削減を目的としてユニバーサル圧延機の使用が試みられ、一部は実用化されてその所期の成果をあげている。図1は造船用サイド・ロンジとして使用されるインバート素材用大形みぞ形鋼の圧延例を示したもので、表2にこのようにして作られるカット・インバートの製造工程およびみぞ形鋼寸法とインバート寸法の関係を示している。また構造物の大型化、高層化、柱間隔の増大にともない、鉄骨構造において閉断面柱が本格的に使用されるようになった。このすう勢に答え開発された大形厚肉箱形柱材としてのユニバーサル・ボックスについて表3に示した。本製品はユニバーサル圧延機により、高さとの比 2:1 の大形みぞ形鋼を圧延し、2本のみぞ形鋼を図のように溶接して製作する。ロール圧下調整によつてみぞの内側寸法が一定で、厚さに応じて外側寸法の異なる多くの寸法のみぞ形鋼を経済的に圧延することが可能である。従来の圧延技術では非対象形であることとフランジ幅が広いということの2点から非常に圧延が困難視されていたものである。ユニバーサル圧延機での圧延では水平ロールと縦ロールの間に生ずるみぞ形鋼肩部のかみ出し(over fill)をいかにおさえ、またエッジング圧延機でいかにうまく整形するかが問題で、肩部の折れ込み疵の防止と形状安定

表 2 サイドロンジ用カットインパートの製造

1. 製造工程



2. みぞ形鋼と製品寸法

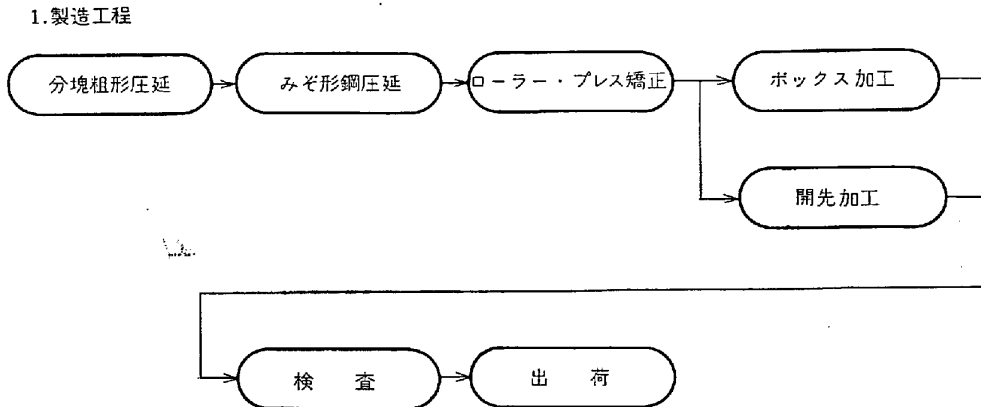
製鉄所	新 日 鉄 (広畑)		新 日 鉄 (堺)			
試 圧	S.40.9		S.40.11			
生 産	S.41.7 ~ 現在		S.41.4 S.43.1 (中止)			
サイズの 組 合 せ	みぞ形鋼寸法	ロンジ寸法	みぞ形鋼寸法	ロンジ寸法		
	400x90x ⁹ / ₁₄ mm	200x90x ⁹ / ₁₄ mm	876x126x 11 ⁵ / ₁₆ * 11 ⁵ / ₁₉ 11 ⁵ / ₂₂ 11 ⁵ / ₂₅ 12 ⁷ / ₁₆ * 12 ⁷ / ₁₉ 12 ⁷ / ₂₂ 12 ⁷ / ₂₅	ウェブ厚 } フランジ厚 } 同左 フランジ幅 } ウェブ幅 334 344 354 364 374 384 394 404 414 424 437 450 460 470 480 490 500 510 520 530 540		
	500x90x ¹⁰ / ₁₅ ¹² / ₁₆	250x90x ¹⁰ / ₁₅ ¹² / ₁₆				
	600x90x ¹¹ / ₁₆ ¹² / ₁₇ ¹³ / ₁₇	300x90x ¹¹ / ₁₆ ¹² / ₁₇ ¹³ / ₁₇				
	800x100x ¹² / ₁₈	350x100x ¹² / ₁₈ 400x100x ¹² / ₁₈				
	800x100x ¹³ / ₁₈	(320x100x ¹³ / ₁₈) (340x100x ¹³ / ₁₈) 360x100x ¹³ / ₁₈ (380x100x ¹³ / ₁₈) 400x100x ¹³ / ₁₈				
	900x150x ¹¹ / ₁₅	450x150x ¹¹ / ₁₅				
	() は現在製造中止				* 印はベースサイズ	

化のためにはユニバーサル圧延機でのフランジ部とウェブ部の延伸の釣合いに細心の注意を払わねばならない。また仕上圧延機に通常の2重圧延機を使用して孔型仕上圧延をする場合もある。仕上圧延をユニバーサル圧延機で行なうとロール調整のみで多くの寸法の製品を得ることができ、ロール原単位も切り下げられるが、みぞ形鋼肩部の若干のかみ出しは避けられない。新日鉄(株)堺製

鉄所ではこのようにして圧延した大形みぞ形鋼のウェブ部のガス切断位置を種々変えることによつて、各種のサイド・ロンジ材を組み合わせて製造した経験がある。

図2は新日鉄(株)八幡製鉄所軌条工場におけるレール圧延について図示したもので、軌条工場改造前のカリバー(孔型)法と改造後のユニバーサル法を対比して示した。図3で明らかなようにレールの使用上とくに重要な

表3 ユニバーサルボックス (U. B.) の製造



2. みぞ形鋼寸法とU.B. 寸法

生産開始：S47.6

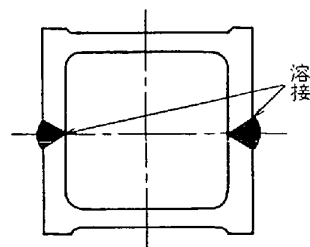
みぞ形鋼寸法			U.B. 寸法
ウェブ幅	フランジ幅	ウェブ・フランジ厚	
400 mm	200 mm	11, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 47, 50 mm	400 × 400
500	250	13, 16, 19, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 47, 50	500 × 500

* 印がベース厚み

厚みは同左



大形みぞ形鋼
(ユニバーサル圧延機による)



U.B.

部分である頭頂部および脚部の鍛錬効果を大きくとつて
いる。成形過程においては上下対象圧延であることによ
つて内部歪が少なく、またユニバーサル圧延機の採用に
より、ロール調整の自由度が大きいため、製品断面寸法
の変動が少なく、孔型の局部摩耗とスケールの孔型側壁
への巻き込みがないため非常に良好な表面肌の製品が造
られている。新旧圧延機レイアウトによる差もあるけれ
ども昭和45年9月～昭和47年9月まで約44万tの
レールをユニバーサル圧延機で圧延し、孔型法に比し圧

延 t/hr で約1.8倍、圧延作業率で約10%、圧延歩留
で約2%向上し、表面疵約2%の減、ロール原単位は約
1/5に削減されている。また同工場ではU型鋼矢板のユ
ニバーサル圧延機による圧延にも成功し、実用化されて
おり、形鋼の圧延成形は孔型圧延から、ユニバーサル圧
延機の圧延特性を生かした合理的な成形への追求が行な
われようとしている。

2.2 形鋼の連続圧延

圧延機の大容量化、高速化、連続化、自動化のすう勢

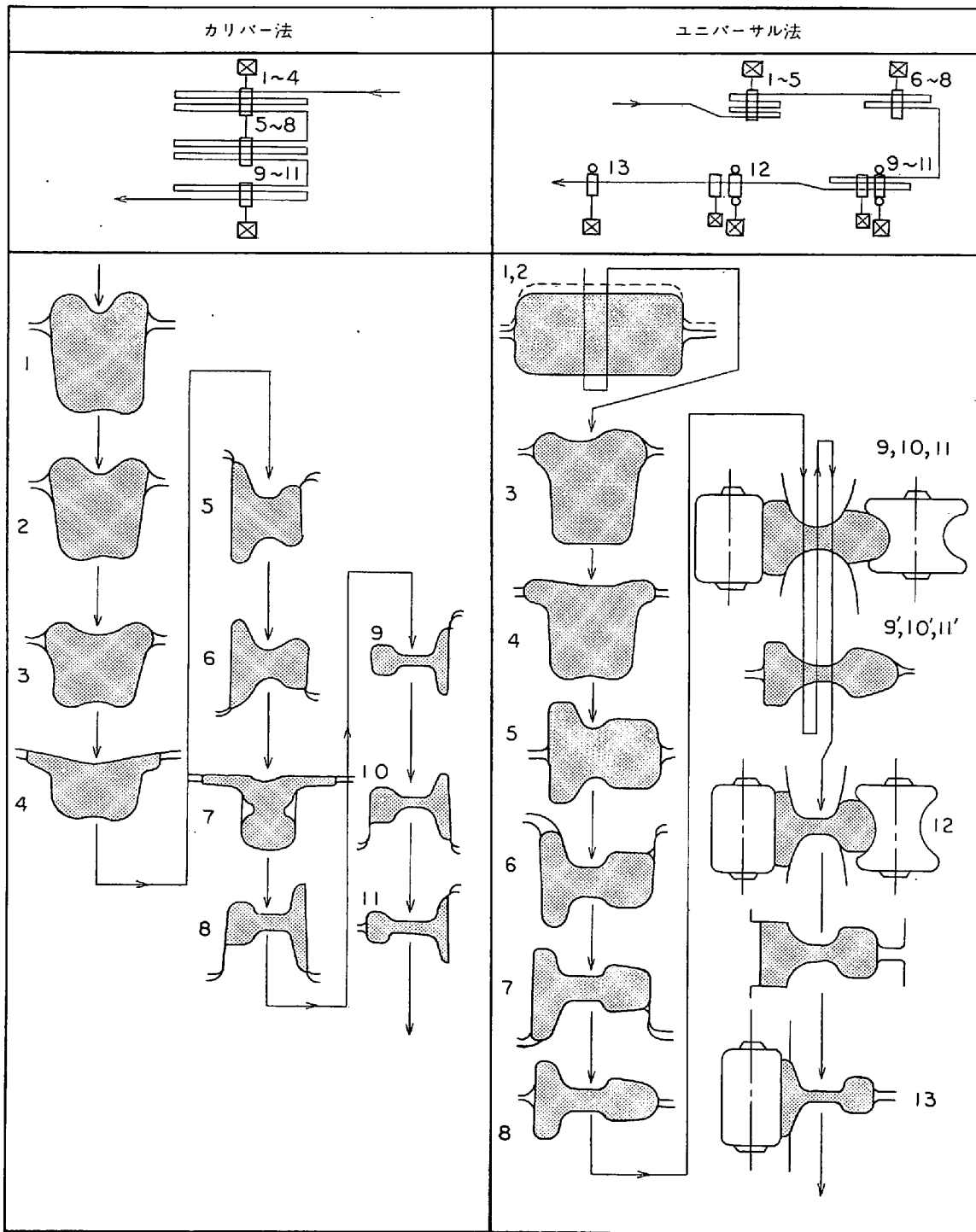


図2 カリバー法・ユニバーサル法の孔型およびパス・スケジュール

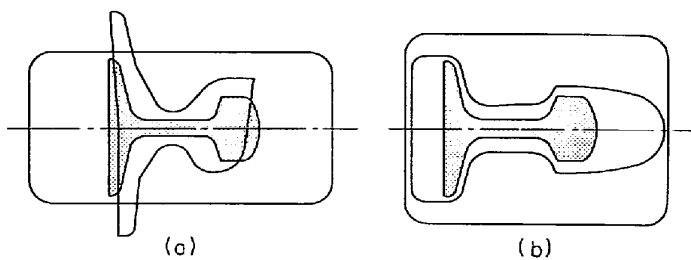


図3 (a)カリバー法でのレール成形法
(成形工程が非対称形)
(b)ユニバーサル法でのレール成形法
(成形工程が対称形)

表4 諸外国におけるH形鋼連続圧延の実績

会社	工場	国名	稼動開始	製品寸法範囲				備考
				A	C	I	H	
J. & L. STEEL Co. (Aliquippa)	14"中形工場	アメリカ	1924	等辺 38-152 不等辺 44x38-152x100	標準 76~152 特殊 254~305	Junior 152~296 ^{mm}	—	ループ有り
Northwestern Steel Co.	20"中形工場	アメリカ	1957	—	—	—	H100x100 ^{mm} S H200x175	
Röchlingsche Eisen u. Stahl Werke	中形工場	西ドイツ	1959	60~120	80~200	IPN 80~200	80~250	H140x140 以上は 非連続. ループなし
Lorraine-Escout Sa.	・	フランス	1960	40~120	70~200	80~200	80~300	フランジ幅 120 ^{mm} 以上は非連続. ループ有り
Northwestern Steel Co.	24"中形工場	アメリカ	1962	90~200	150~450	—	H100x100 ^{mm} S H450x180	ループなし
Hüttenwerk Rheinhausen Ag.	小形工場	西ドイツ	1962	30~100	30~120	80~120	IPE 80~120	

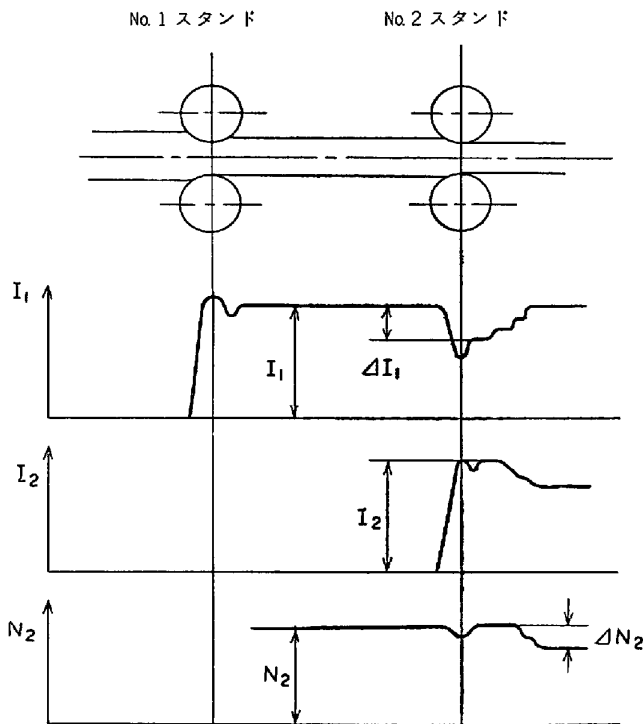
注) IPN ; エビームのヨーロッパ規格

IPE ; 細幅H形鋼のヨーロッパ規格

にしたがつて中小形圧延機ではすでに連続化が指向されている。表4にジュニア・ビームあるいはH形鋼の連続圧延の外国における実例を示している。Northwestern Steelでのフランジ幅180mmの1例を除きH形鋼のフランジ幅はいずれも100mm以下であつて、ある程度の張力付加圧延による影響を無視したもの、あるいはスタンド間ループによる連続圧延である。連続圧延によつて①高生産性がえられること②圧延疵の少ない薄肉の製品が製造できること③全長にわたり寸法・形状の良い均一な製品がえられること④大きな鋼片を使用して圧延伸びを大きくとることができ、圧延歩留をあげられること⑤設備が大幅に機械化、自動化ができること⑥要員削減による労務費および作業コストを低減させることなどの利点を追求することができる。したがつてH形鋼の本格的な生産に対処するため、H形鋼のフランジ幅がどの程度のものまで果たして連続圧延が可能であるかが新鋭H形鋼専用圧延設備建設時の焦点となつた。

連続圧延の基本的条件はタンデム配置の各スタンドからの材料の放出量が一定 (massflow constant) になることであつて実用上支障のない程度でいかにこの条件を作り出すかが問題になる。このためにはスタンド間圧延材にかかる張力をできるだけ小さく制御する必要がある。現在知られている張力制御法には、①機械的ルーパーによるもの；スタンド間で圧延材にループを作り、そのループ量をルーパーで検出し、圧延速度を制御する方式、②スタンド間張力によるもの；スタンド間の圧延材による張力をプレス・ダクターで検出し、圧延速度を制御する方式で、スタンドは張力で前後方向に動きやすいよう

に振り式機構の上におかれている、③メジャリング・ロールによるもの；圧延材の速度をメジャリング・ロールで測定し、張力の値を圧延材速度の変化で検出し、圧延速度を制御する方式、④電流記憶方式によるもの、圧延機電動機の電流値を測定し、張力の値を電流値の変化で検出し、圧延速度を制御する方式がある。①の方式ではフランジ幅125mm以上でループができにくく、ウェブの中心かたよりなど成品形状が悪いこと、②の方式ではH形鋼の寸法範囲によつて振り式機構の取り替えが必要であり、スタンド3台以上の連続圧延の場合、張力検出精度が悪くなること、③の方式では多数のメジャリング・ロールの精度維持のための保守が実際上困難であることからH形鋼の連続圧延の張力制御方式としては電流記憶方式を基本にして研究が進められた。その結果開発されたAMTC方式の原理を図4に示す。No1スタンドに材料がかみ込んだとき発生する電流のインパクト・ドロップが回復した後の電流 I_1 をNo1スタンドの圧延電流として記憶し、つぎにNo2スタンドに材料がかみ込んだとき、もし張力がスタンド間材料に働いていれば、No1スタンドの電流は記憶した値に対し ΔI_1 変化するはずであるからその偏差をゼロにするようNo2スタンドの速度修正を行なえば、スタンド間の圧延材に張力が働かない、いわゆる張力のない状態の圧延が行なわれていることになる。このようにして熱間圧延材に寸法変化をもたらさない程度に電流を制御して各スタンドの放出量の変動も考慮してスタンド間の張力を最小に保つように小型計算機で自動制御を行なう方式である。この方式の開発によつて、川崎製鉄



I_1 : No 1 スタンドの圧延電流
 ΔI_1 : No 2 スタンドに噛み込んだ時の No 1 スタンドの電流変化分
 I_2 : No 2 スタンドに噛み込んだ時の回転数修正前電流
 ΔN_2 : No 2 スタンドの回転数修正分

図 4 連続スタンドの電流と回転数の関係

(株)水島, 中形工場 (昭和 46 年 11 月稼動) の 3 スタンド連続化による 中形寸法 H 形鋼 (最大寸法 H 400×200) 専用工場が実現した. この工場は将来 3 台の圧延機を追加して 6 台の仕上連続圧延を行なうよう計画されている⁴⁾. また新日鉄(株)君津大形工場 (昭和47年 4 月正式稼動) でも最大 H500×200 までの寸法の H 形鋼の全連続圧延に成功し, すぐれた寸法精度の製品の生産と従来の同規模圧延機の約 3 倍の生産を可能にした. 川崎製鉄(株)水島, 中形工場の調査によるとスタンド間の材料に発生する単位断面積当りの張力が 4 kg/mm^2 以上では, フランジ先端が丸味を帯び, $2\sim 3 \text{ kg/mm}^2$ のときは, フランジ幅や厚みが細くなる傾向が残る. したがって AMTC 方式の狙いは, その張力を 1 kg/mm^2 以下に制御するのが良いとしている⁴⁾.

一般形鋼や鋼矢板など形状の複雑な形鋼の連続圧延を考える場合, 製品の寸法精度と形状に影響を与えない範囲の最小張力値の制御方式の開発, あるいは圧延材の先端形状と大形形鋼の形状特性からくる圧延中の変形予測およびこれらから生ずる諸問題の解決など, 今後の研究と進歩をまたねばならない問題が多く残っている.

3. 形鋼製造設備

形鋼圧延の特長は多品種少量圧延であるため, 形鋼の

製造設備は製造すべき品種, 寸法, それらの品種構成比率に応じた最も適したものでなければならない. したがって新鋭圧延機においてもレイアウトにそれぞれ特長を持ち必ずしもある定まった様式を示していないといえるが, 共通点を列挙すると圧延設備では①ユニバーサル圧延機の採用, ②ロール軸としてローラー・ベアリングの採用, ③ミル剛性の向上, ④自動圧下設定機構 (Preset control system) すなわち C.P.C (Card Programming Control) や S.P.C (Stored Programming Control) の採用, ⑤誘導装置およびその取り付け法の改善, ⑥ロール組み替え装置の採用によるロール組み替え時間の短縮 ⑦直流モーターの制御源としてのサイリスタの採用, ⑧熱間鋸断機の増設と最適計画鋸断方式の採用などでありまた精整設備では, ①矯正機能力の向上, ②流れ検定の導入, ③各種自動転ぶく機およびトランスファー装置の採用, ④仕分床の設置と結束機の採用などであり, 効率的な生産, 製品寸法精度の向上, 省力化をはかることが最大の目標となっており, 圧延作業と精整作業の能力均衡にとくに留意している.

3.1 圧延機の配置

図 5 に示すように①, ②は従来の一般的な大形形鋼の圧延設備で, 2~3 重圧延機が平行に 3~4 基配列され, 各スタンドはカップリングとスピンドルで連結されて 1 台の電動機で駆動されていた. 圧延ピッチをあげ圧延能力の向上をはかるため, 仕上スタンドを分離単独運転し仕上圧延と粗圧延との相互干渉を解消したものもある.

②では平行スタンド群と加熱炉間にタンデムに第一粗圧延機 (Breakdown mill) を設置したもので, さらに高能率の圧延が行なえるが, ①, ②の場合平行スタンドロールの連結などに長時間を要し, 組み替え時間は 3~8 hr が普通である. ライン外でのロール整備によるロール・スタンド交換方式を採用してもロール組み替えに 2~4 hr を消費している. またロール調整などによる圧延休止も多く, 製品寸法のばらつきも大きい. 初期の H 形鋼は③に示すように既存の平行配置圧延機をユニバーサル圧延機に入る素材の造形に利用し, 新たに中間ユニバーサル圧延機および仕上ユニバーサル圧延機を増設配置した設備で圧延されていた. この場合平行圧延機が能力面での隘路となっていた. ④~⑦は H 形鋼の本格的な圧延設備でいずれも圧延機はタンデムに配置され高能率化がはかられている. ⑥, ⑦はフランジ幅 200 mm までの中小形寸法の H 形鋼専用圧延機として建設されたもので中間粗圧延機群と仕上圧延機群に連続タンデム配置を採用し, ⑥では将来最終的には仕上ユニバーサル群はユニバーサル圧延機 4 基, エッジャー圧延機 2 基計 6 基の連

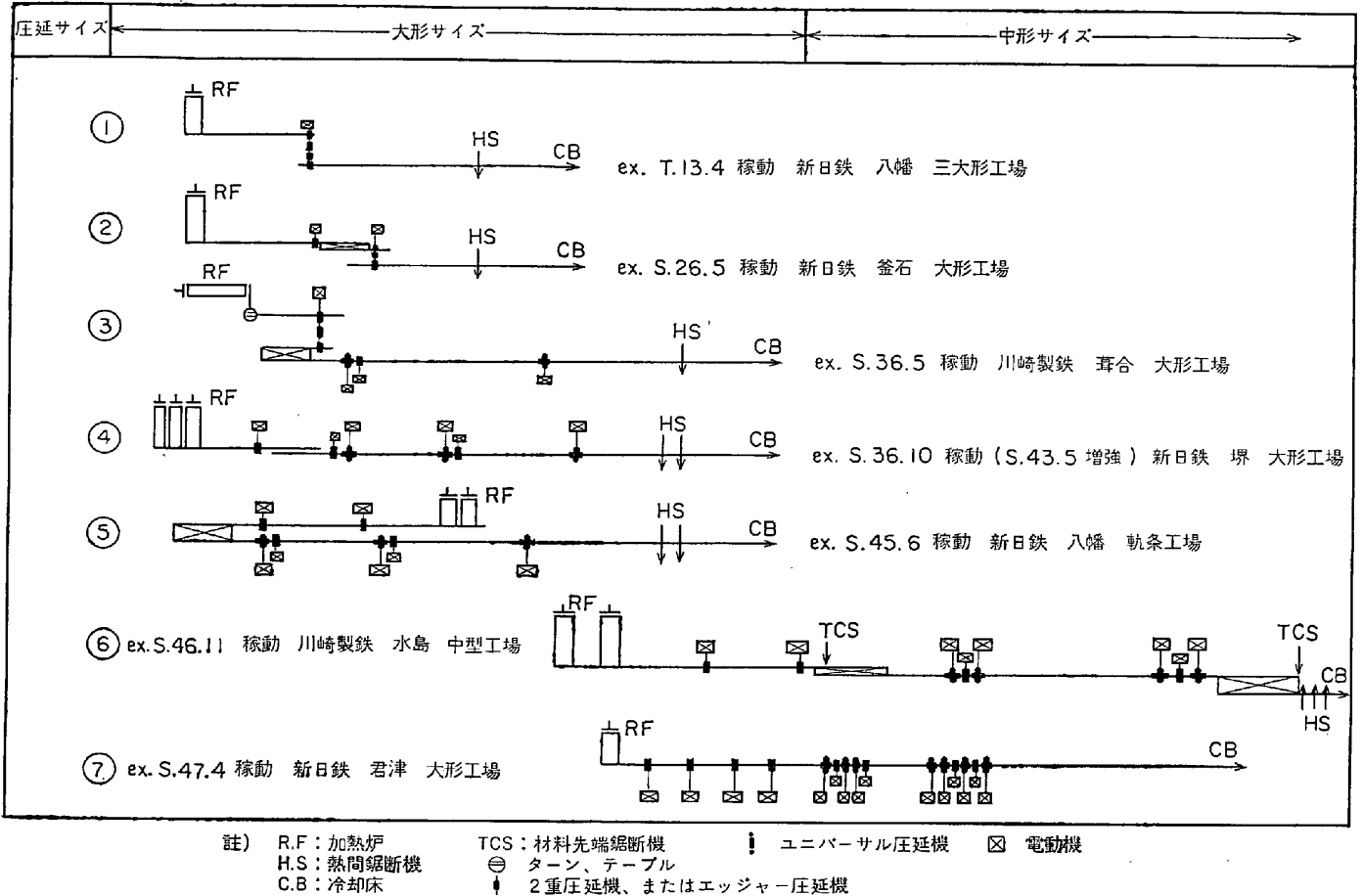


図5 形鋼ミルレイアウトの変遷

続圧延となる計画である。⑦では2重圧延機4基の粗圧延機群とユニバーサル圧延機3基、エッジャー圧延機2基計5基連続中間圧延機群およびユニバーサル圧延機4基、エッジャー圧延機2基計6基の連続仕上圧延機群で構成されている。仕上圧延機から出る製品の長さは従来50~75m長程度であつたものが、120m以上にまで伸ばされ、切断せずに冷却され次工程で長尺のまま矯正が行なわれている。この工場の生産工程の特色は連続圧延、長尺冷却、長尺矯正および冷間での数本まとめ同時鋸断である。したがって最新鋭大形形鋼製造設備の能力は従来の3~4万 t/monthのものから10~15万 t/monthにまで飛躍的に拡大され、労働生産性も著しく改善されている。

3.2 圧延機と誘導装置

圧延機のミル剛性は製品の寸法精度上、とくに薄物の圧延には最も重要な要素で、ミル剛性を高めるための種々の工夫が払われている。新日鉄(株)広畑・大形工場、日本鋼管(株)福山・大形工場ではクロスビームおよびクロス・パー式圧延機が採用されている。左右のスタンドにまたがったクロス・ビーム(粗ユニバーサル圧延機)

あるいはクロス・パー(仕上ユニバーサル圧延機)を上下入側と出側に組み込み、大小、長さの異なるロールに対しもつとも適した位置で圧延荷重を受け、剛性の非常に高いビームで支持することによつてミル全体のバネ定数の値を大きくしている。新日鉄(株)君津・大形工場では従来の閉頭形ハウジングに圧下ネジを設けその回転によるロール間隙の設定方式から、圧下ネジの代りに偏心ピンを用いたリンク型を採用し⁶⁾、圧延機をコンパクトにするとともにミル剛性を高めている。また川崎製鉄(株)水島・中形工場の仕上圧延機群の縦ロール圧下はネジによる直接駆動ではなく、ユッターを上下させて動かす構造⁴⁾を採用している。

誘導装置は圧延材を正しくロールにかみ込ませ、またロールから誘導するために最も重要なもので、従来は誘導装置をその取付梁(Balken)に取り付けロール・スタンドに固定していたが、ロールと誘導装置の相対的位置関係を固定するため、最近の第一粗圧延機(Breakdown mill)やユニバーサル圧延機ではその取付梁をロールとともに動くようロール・チョック(Roll chock)に取付けている。とくにH形鋼において最も問題となるウェブ

中心のかたよりはH形鋼の基本的な圧延機構が解明されるにともないその発生原因も明らかとなり、ウェブ中心のかたより防止対策が種々とられるようになった。表5

表5 ウェブ中心のかたより発生要因

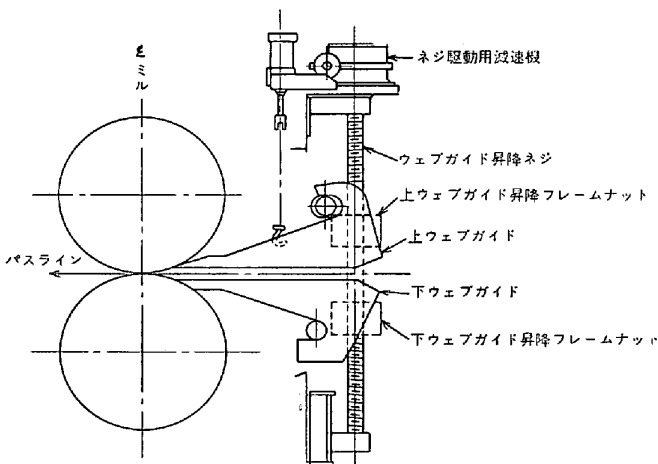
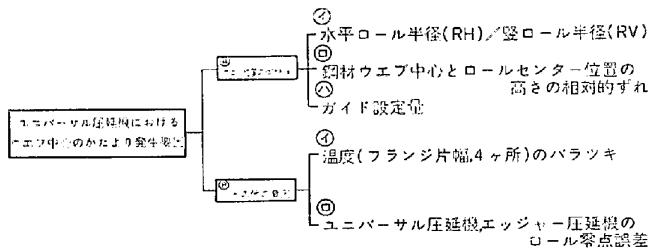


図6 ウェブガイド昇降装置構造原理 (川鉄・水島/中形工場)

にウェブ中心のかたよりの発生原因を示す。川崎製鉄(株)水島・中形工場では圧延機前面に図6のような電動昇降式ウェブ案内装置⁴⁾を採用し、上下の水平ロールの動きに同調して上下ガイドの間隙を平行に保つたまま動き、パスごとにロール間隙との関係で最適の水平位置と間隙に位置づけ、ウェブ中心のかたより防止にきわめて大きな効果を発揮している。また堺・大形工場、水島・中形工場、君津・大形工場などでは圧延機後面ローラー・テーブルを傾斜調整可能なチルチング・テーブル (Tilting Roller Table) として材料の進入高さすなわち鋼材ウェブ中心とロール間隙中心位置の高さの相対的ずれをきめ細かく調整できるようにしている。

3.3 ロール組替方式

少量多品種でしかも短い納期の圧延が要求される形鋼の圧延設備では製品寸法、種類の変更が多いため、ロールの組み替えおよび誘導装置の組み込みをいかに精度良く短時間に行なえるかが設備全体の稼働率を左右する最重要点となる。このため表6に示すようなロール組み替え方式が採用されている。スタンド交換方式は同一のスタンドを機上の電気品を含めて通常の2倍ずつ保有しなければならないこと、スタンドにつながる多数の配管や配線をスタンド交換の都度着脱しなければならないことなど不利な面があるが、ユニバーサル圧延機の複雑なロール間隙調整や誘導装置類の完全なスタンドへの組み込みをライン外で精密に行なうことができ、新旧スタンド交換

表6 ロール組替方式

主な採用工場 組替方式	会 社	製 鉄 所	工 場 名	代表サイズロール組替時間	
				パ タ ー ン	組 替 時 間 (min)
スタンド交換	川崎製鉄	水島	大形	H ↔ H 一般形鋼 ↔ 一般形鋼	50(最少25) 60
	〃	〃	中形	—	—
	新日鉄	君津	大形	全サイズ	50(計画15)
	日本鋼管	福山	第二大形	—	40
インナー スタンド交換	川崎製鉄	葺合	条鋼	—	—
	新日鉄	堺	大形	H ↔ H H → 鋼矢板 鋼矢板 → H	45 95 70
	〃	八幡	軌条	全サイズ	90(計画60)
クロスビーム ロール交換	新日鉄	広畑	大形	H ↔ H H → 鋼矢板	50 80
	〃	室蘭	H形鋼	全サイズ	75
	日本鋼管	福山	第一大形	H ↔ H H ↔ 一般形鋼 一般形鋼 ↔ 一般形鋼	20 40 30

(注) H: H形鋼.

の時間を短縮し、交換直後の圧延から精度の良い製品を安定して製造できる特長がある。スタンド交換時の配線つなぎ込みはエア・シリンダーによる自動継手を採用し、遠隔操作で多数の接点をスタンドごとに秒単位にオン、オフを可能としている。配管は手動操作による迅速動作継手 (quick coupler) を用いたりして配管、配線の継ぎ込み作業を迅速確実に行なえるよう配慮されている⁴⁾。

また新しい興味ある試みとして新日鉄・君津、大形工場における縦ロールのチェック付ロール研削方式⁶⁾の採用がある。ロールをチェックに組み込んだままロール旋盤にのせて改削または修繕を行なうことができ、ロール

研削時の分解・組立作業を考える必要がなくなり、ロール軸の固定方式を強化し、縦ロール事故の防止とそのロール準備時間の大幅な短縮に役立っている。

3.4 鋸断作業と冷却設備

圧延ピッチの短縮、圧延製品伸びの長尺化あるいは注文長さの複雑な取り合せによる鋸断回数の増大などによって、ほとんどの既存工場では鋸断機と冷却がまず工程能力上の隘路となっており、その解決への努力と省力化が積極的に推進されてきた。鋸断機においては倍尺鋸断の採用、鋸断機の増設あるいは鋸断機の2列化など(図7)積極的な鋸断能力増強対策がうたれるとともに、新鋭工場では圧延長さ測定の自動化からゲージ設定、製品

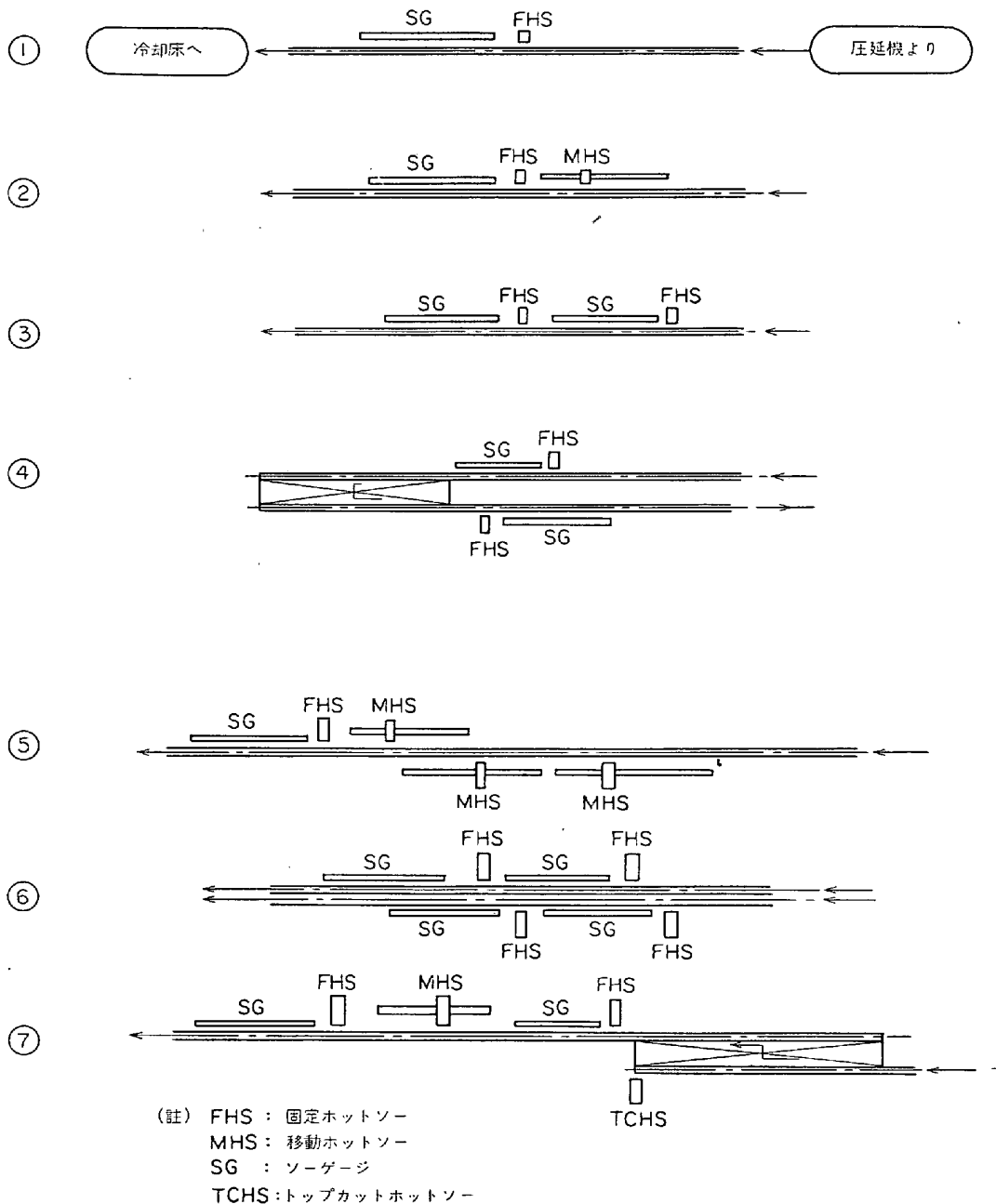


図7 典型的な鋸断機の配置例

の取り合わせまですべてコンピューターによる制御が行なわれている。仕上ユニバーサル圧延機を出た圧延材はホット・メタル・ディテクター (Hot metal detector) と呼ばれる検出器により正確な長さが測定され、その温度測定により冷間時の材料長さがコンピューターにより補正計算され、注文寸法カードにあらかじめ記憶している注文寸法群の中から歩留りが最高となるような鋸断長さを決定し、定寸機の位置選定を行なう。この場合冷間時における収縮長さを見込んだ位置に自動設定され、ローラー・テーブル速度を常に加減速制御して圧延材の定位置自動減速停止を行なうことによつて正確な鋸断長さが確保される。

さらには鋸断能力不足の解決と矯正能力の向上を狙つたものとして、長尺圧延—長尺冷却—長尺矯正方式がある。冷却床は製品疵や曲がり防止、自動化による省力化のため最新式のものはずべてチェーン・コンベア方式かウォーキング・ビーム方式となつており、また冷却床効率をあげて冷却床面積の有効利用とその巨大化を防ぐため急速水冷装置が冷却床に設置されるようになってきた。

3.5 その他の圧延設備

形鋼圧延においても最近急速にウォーキング・ビーム式加熱炉が採用されその基数が増大している。これは①スキッド・マークがほとんどなく均熱性が向上すること②スキッドによる裏面疵が入らないことのほかにとくに形鋼用として、③材料間に間隔をおくため装入鋼片の断面形状による加熱炉装入制限がないこと、④圧延操業の負荷変動あるいは圧延待などに対し操炉作業に融通性があることなどの理由によるものと考えられる。

また製品表面性状に対する要求が一段ときびしくなつてきたため加熱炉抽出後および各スタンド前後面に 150~170 kg/cm² の高デスケリング装置あるいは鋼材の失熱防止のための 4~12 kg/cm² の蒸気デスケリング装置が設置され、一次・二次スケールの剝離が強化されている。

ロールについてはその原単位の製造コストに占める割合が大きく、製品の品質と圧延能率の向上に対しても、ロールのヒート・クラックの防止、表面の焼付防止およびロールの局部摩耗の防止が必要で適正なロール冷却法の開発と圧延油の効果的な利用が肝要である。ロール冷却効果を高めるため最近では通常の 1~3 kg/cm² の冷却水から 4~10 kg/cm² の高圧水の使用あるいはその流量の増大がはかられている。圧延油の利用にはその廃油による水質汚染防止に十分工夫を払わねばならないがとくに少量でかつ効果的な給油法の開発が今後必要である。

3.6 精整・整理設備

表7に精製ラインにおける製品処理の流れを示しているが、多くの製品処理とそれに関連した移送、検定仕分け、向先規格別マーキング、塗色、および結束作業と複雑で既存工場では精整・整理場の狭溢さとあいまつて起重機による製品の山積、配替、貨車出荷待のための一時預など、土間作業の繰り返しで多くの人手といわば大福帳管理的な工程管理に依存しているため、工程流れの単純化、省力化はむずかしく最も進歩のおくれた分野であつた。さらには製品の大型化、曲り・振れなど、需要家における機械化・合理化・省力化の要求からくる要求品質のきびしさの激化傾向にともなつて、再ローラー矯正作業、プレス再矯正作業、疵手入処理、切り下げ処理などが著しく増大し、作業流れの混乱、工程阻害の度をますます大きくしている。したがつて条鋼圧延設備の合理化あるいは近代化が進むにつれますますます圧延能力と精整・整理処理能力の不均衡が大きくなる。この不均衡の根本的解消と労働賃金上昇にともなう製品製造コストに占める労務費割合の上昇を吸収するための省力化がきわめて重要な課題となつている。既存の工場ではI・E手法による工程流れの改善、機械化などあらゆる工夫が払われ大きな成果をおさめている。その主要なものを列挙すると①ローラー矯正速度の向上、②ローラー矯正機あるいはプレス矯正機の増設、③ライン外作業のライン内作

表7 精整ラインにおける製品の一般的な処理の流れ

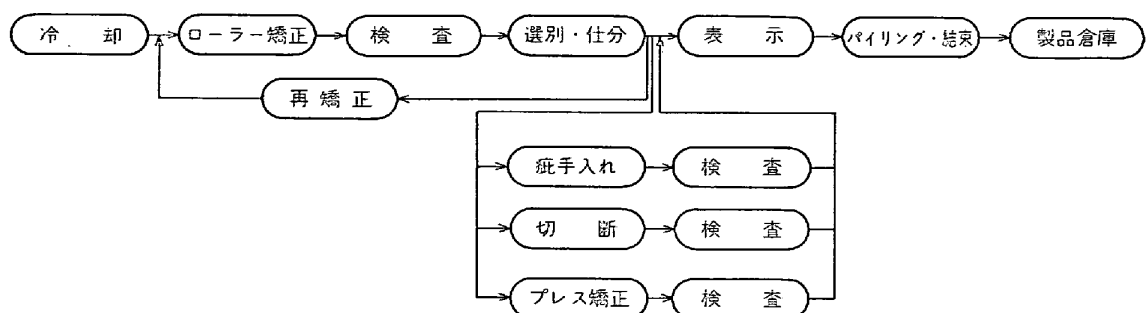
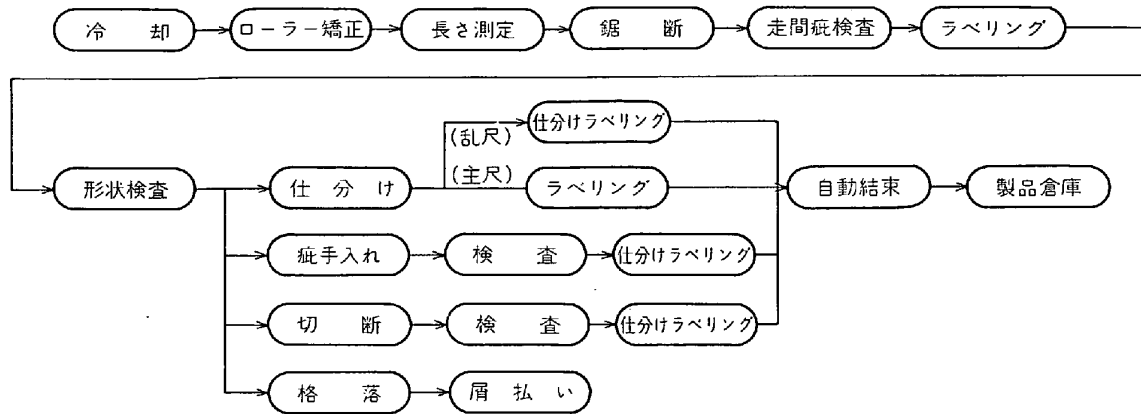


表 8 新日鉄・君津製鉄所大形工場における製品処理の流れ



業化、(流れ検定の実施, ローラー・テーブル, トランスファー装置, 製品蹴出し装置, 転回装置などの機械化や自動化) ④運転作業の集約化, ⑤リフマグ・クレーン採用による玉掛工の廃止などである。しかし既存工場においては工場レイアウト上の制約, 場所の制限などから経済的に徹底した合理化改善を行なうことはきわめてむずかしい状態といえよう。

ローラー矯正作業は最終製品の品質と形状を大きく左右する重要な役割を持ち, また精整・整理作業の円滑な流れを保証するための前提でもある。新日鉄・君津・大形工場では圧延長さのままの長尺矯正を行なっているが, ①長尺矯正であるため材料のかみ込み後, 矯正機を急速に加速でき, 矯正速度も 2m/sec から 5~8m/sec へと大幅な高速化がはかれること, ②かみ込み回数が減少するため先端曲りの問題が解決されること, ③製品長さ方向のウェブ高さの変動も小さくできることなど作業性の改善効果と品質向上効果はきわめて大きいといえる。

このようにますます矯正作業の重要性が認識されるにつれ, 矯正理論解明への努力がなされるようになってきた。しかし矯正機の理論的解明については塑性加工のなかでも研究がおくれている分野であつて, 繰返し曲げ矯正の基礎的な原理に関する研究がある程度行なわれたにすぎず, 矯正中の変形機構の総合的な研究はほとんど行なわれていなかったといえる⁷⁾。矯正特性の実験的研究, 矯正機の理論的解明への研究を通じて矯正機能力を最大限に発揮させるような適正な標準作業方法の確立, 矯正作業の自動化への努力あるいは新矯正機設計のための基本的技術体系の確立への試みがなされるようになった。

最新鋭の工場ではとくに精整・整理工程の合理的なレイアウトの追求が徹底して行なわれたことは既述のことからも当然といえよう。レイアウトの決定のためには予

想される製造品種構成に基づき, 生産進行管理, 能率, システムなど生産管理面の検討が設備建設企画と並行して行なわれ, ①現品の流れと作業指示の情報, 実績収集の対応, ②現品管理を容易にするため, 山積, 配替, 横持ちなど製品取り扱いを最小限におさえること, ③生産性向上のための“待ち”の排除, ④オンライン・リアルタイムによる情報処理がやりやすいことなどの徹底的な検討が行なわれ, 向先, ロット, 定尺, 乱尺, 仕掛けなどの仕分け出荷床の設置, 再矯正品, 疵手入品, 切り下げ品などの仕掛け処理のライン内処理化, 製品組み合わせ機, 自動結束機の採用など種々の工夫が払われている。表 8 に最新鋭工場における製品の処理流れの例を示す。また図 8, 図 9 および図 10 に精整レイアウトの進歩の変遷の姿をみることができよう。

しかし今後さらに徹底した省力化・合理化を推進するための課題としては, ①寸法, 形状, 疵などの検定作業の機械化, ②パイリング, 結束作業の自動化, ③疵取り手入れ作業の機械化とライン内処理化, ④マーキングおよびラベル貼付の機械化などまだまだ開発すべき問題点が多い。

製品の整理あるいは倉庫作業の 1 つの革命的な試みが新日鉄・君津・大形工場の例にみられる。大形形鋼自動整理ヤードは自動ラック・ヤード(立体自動倉庫)とリフマグヤード(長尺材ヤード, 陸送出荷ヤード)とで構成されており, 条鋼オンライン情報管理システムによつて管理され, 生産, 仕分け, 保管, 出庫, 荷役の管理が

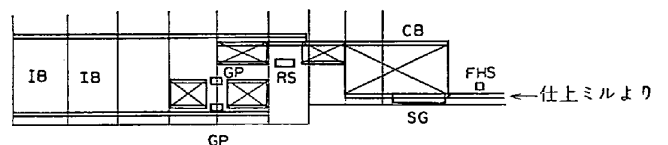


図 8 従来の精整レイアウトの例 (新日鉄・八幡三大形工場 T.13稼動) 図10注) 参照

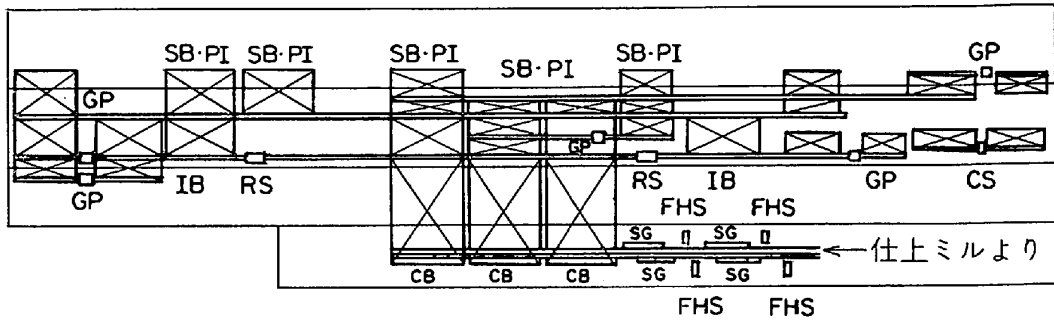


図 9 新しい精整レイアウトの例 (川崎製鉄・水島大形工場 S46.6稼動)
図 10 注) 参照

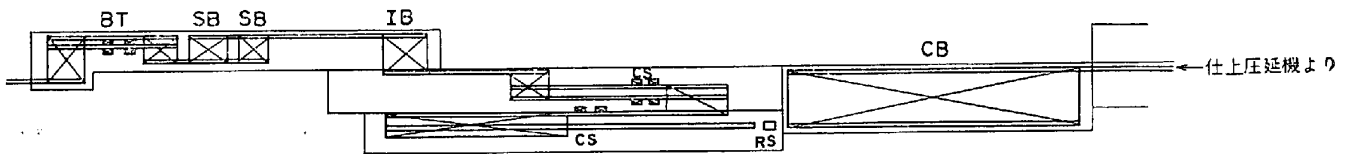


図 10 長尺冷却・長尺矯正をとり入れた最新の精整レイアウトの例
(新日鉄・君津大形工場 S47.4. 稼動)

(注) 図中の略号説明

設 備	略 号	設 備	略 号	設 備	略 号
固定ホットソー	FHS	検 査 床	IB	プレス矯正機	GP
定 寸 機	SG	仕 分 床	SB	結 束 機	BT
冷 却 床	CB	パ イ ラ	PI		
コールドソー	CS	ロ ー ラ ー 矯 正 機	RS		

オンライン、コンピューターによつて有機的に結合され、大幅な人員の合理化と出荷まで含めた効率的な生産計画、荷役能率の向上、ユーザーサービスの向上と大きな成果をあげている。

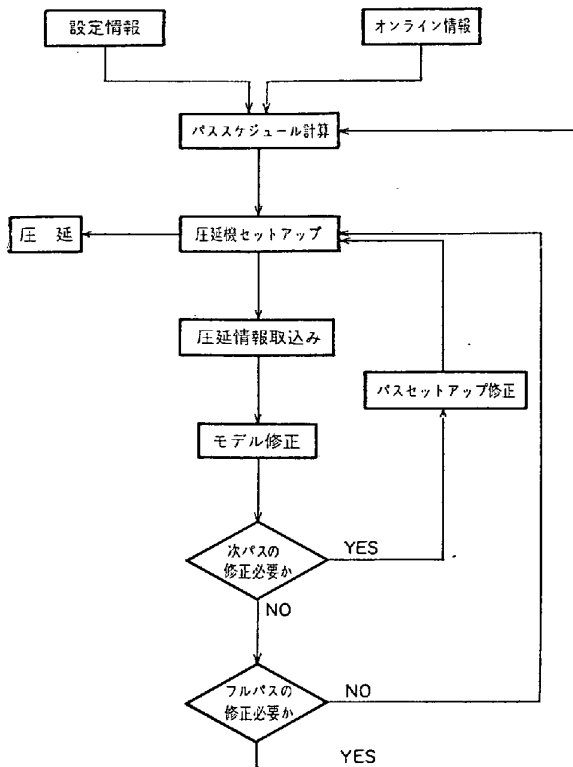
4. 大幅なコンピューター制御の導入

圧延工程へのコンピューター制御の導入はもはや常識化され大形圧延機すなわち分塊圧延機、厚板圧延機、熱間ストリップ圧延機、冷間ストリップ圧延機、スキンパス圧延機などほとんどのものにコンピューター制御が採用されている。圧延機のロール位置ぎめ、製品のトラッキングによる生産指令、生産・工程管理、情報管理はもちろん板厚制御、形状制御など品質管理の面からもコンピューター制御に大きく期待され、大きな成果をあげている。これらのすう勢から形鋼の製造においても、最新鋭の設備では全ラインにコンピューターによる全自動運転が計画され実行されている。それらのおもな機能は①加熱炉の装入から抽出までの位置決め制御、②圧延シーケンス制御(A.P.C)、③圧延機およびその前後ローラー・テーブルの正逆運転と速度制御、④連続圧延機の場合の自動張力制御(A.M.T.C)、⑤熱間鋸断機における熱間寸法計算と定寸機の位置ぎめ、⑥最適取り合わせ鋸断の計算と指示、⑦冷却床の移送ストロークおよび精整ラインの各トランスファー装置の位置ぎめ、⑧矯正

機のかみ込み、蹴出時の矯正速度の昇降、⑨仕分け装置における向先、長さ、材質、断面、級別を記憶して各仕分け床への自動搬送、⑩検定情報などの集計と総合判定⑪生産計画、在庫管理、ロール・誘導装置関係の管理などである。

圧延機の圧下設定は手動から C・P・C (Card Programming Control System)、S・P・C (Stored Programming Control System) へと進歩している。S・P・Cは圧延機の完全自動運転を行なうに必要なデータをスケジュールとしてドラムに貯えておき、運転者が操作盤の指示スイッチによつて任意のスケジュールを選ぶことによつてドラムからコア上にそれを呼び出し C・P・U (中央演算処理装置) によつて制御ができるようになってい。C・P・C に比較してカードが不要のためこの保管のための人手を要せずミスが少ない。またプログラムの追加、暫定的な変更も容易に可能である。新日鉄・八幡・軌条工場における S・P・C のおもな制御機能を1例として示すと、①水平ロールと縦ロールの位置設定、②エッジャーロールの位置設定、③水平ロール前・後面サイド・ガイドの位置設定、④かみ込み速度、⑤圧延速度、⑥蹴出し速度、⑦水平ロールとエッジャー・ロールの速度同調、⑧ユニバーサル圧延機とローラー・テーブルの速度同調、⑨デスケリング・スプレーの動作、⑩圧延油の制御などである。

表 9 A.P.C 自動制御フローチャート
(圧延理論とその応用：日本鉄鋼協会)



しかし素材の寸法、温度、荷重などの原始データをインプットし、C・P・U で自己計算し、プログラミングして自動的にロールと誘導装置を設定して圧延するまでにはいたっていない。このように条鋼圧延におけるプロセス・オートメーションのおくれはプロセス解析に必要な形状、断面寸法の熱間走間計測のむずかしさによるところが大きい。断面寸法の計測用としてH形鋼のフランジ幅計、ウェブとフランジ厚計が開発され、断面寸法のオンライン測定が実用化され、また薄形の特性のすぐれた圧延制御用ロード・セルも開発された。今後形鋼圧延プロセスにおいても、プロセスの連続化、高速化がはか

られるとともに、品質の高級化への強い要請によつて計測技術の発展が強くながされ、各種検出端の開発、改善によるプロセス解析、形鋼圧延自動化のための基礎的研究が一層盛んになるであろう。

表 9 は A・P・C (Automatic Programming Control) による自動制御の流れ⁹⁾を示したものである。新日鉄・堺、大形工場では昭和 48 年 3 月世界ではじめて、H形鋼圧延のコンピューター制御による自動運転に成功した。プラスチック成形機による基礎的な実験研究と操業資料の解析の蓄積によつて、圧延温度、圧延動力、圧延荷重、フランジ幅広がり、先進率、圧下バランスの総合的組み合わせの数式モデルを完成し、コンピューター制御システムを開発した。このシステムの主要なはたらきは、①各ユニバーサル圧延機におけるH形鋼の最適パス・スケジュールの作成、②各圧延機の A.P.C 装置(自動圧下位置ぎめ制御装置)による自動設定の 2 点である。また数式モデルの学習によつて製品寸法・形状の精度をよりいつそう高める制御性能を発揮するように、フルに活用されている。

形鋼圧延は今後ますます連続化と大幅なコンピューター制御の導入が盛んとなり、急速な発展が期待されるといえよう

文 献

- 1) 中島, ほか: 製鉄研究, (1972)275, p. 42
- 2) 土屋: 生産と技術, 24 (1972) 8, p. 10
- 3) 小田切: 日立評論, 52 (1972) 8, p. 79
- 4) 森川, ほか: 川崎製鉄技報, 4 (1972) 4, p. 63
- 5) 吉谷, ほか: 製鉄研究, (1972) 275, p. 69
- 6) 鍛圧機械設計部: 石川島播磨技報, 13 (1973) 1, p. 96
- 7) 荒木: 塑性と加工, 12 (1971) 129, p. 768
- 8) 二日市ほか: 石川島播磨技報, 別刷 (1969) 2, p. 103
- 9) 日本鉄鋼協会: 圧延理論とその応用