

技術資料

UDC 621.771.237.016.3

## 冷間圧延技術の進歩\*

久能 一郎\*\*

## Development of Techniques &amp; Equipments at Cold Rolling Section

Ichiro KUNO

## 1. 緒 言

現在世界において、タンデム圧延機 183 台、レバース圧延機 155 台、ゼンジミヤ圧延機 100 台の合計 438 台が稼働しており<sup>1)</sup>、そのうちわが国においては、タンデム圧延機 23 台、レバース圧延機 23 台、ゼンジミヤ圧延機 29 台がそれぞれ稼働している(表 1 参照)。わが国はタンデム圧延機ならびにレバース圧延機については西ドイツ、イギリスをはるかにしのいで、米国に次ぐ世界第 2 位の保有台数を誇っており、ゼンジミヤ圧延機については米国をしのいで、世界第 1 位の保有台数に達している。

コールドストリップ圧延機の最も代表的なものとしては、やはりタンデム圧延機であるが、それらのうち圧延

最高速度 1800 m/min 以上のタンデム圧延機を示すと表 2 のようになっており、米国は伝統的強味を發揮し 10 台を保有し、わが国はこれを追い 8 台を保有するにいたっている。この表からわかるように米国の代表的高速タンデム圧延機は 1966 年までに建設が終り、それ以降の建設が見られないのに比べ、その他の諸国においては建設が意欲的に進められており、とくにわが国における建設が、その大半を占めるにいたった。

わが国で建設された最近のタンデム圧延機は従来の米国のメーカーの製作によるものが姿を消し、1968 年以降はすべて国内メーカーによるものに切り替わっている。さらに世界最大板幅圧延機<sup>2)</sup>、世界最高速圧延機<sup>3)</sup>、完全連続圧延機<sup>4)5)</sup>ならびに油圧々々専用圧延機<sup>6)7)8)</sup>へと過去 6 か年の間に世界の衆目を集める最新鋭圧延機が、つぎつぎに生まれた。これは終戦後の鉄鋼業界の合理化の焦点であつた冷間圧延設備の近代化に当つて、もつぱら米国の技術の導入にたよつてきたものが、これを十分に吸収、消化した結果、初めて一人立ちができたことを意味している。すなわち、設備技術と圧延技術の水準向上のためになされた不断の努力とその成果を物語るものとして非常に喜ばしいことである。これらの技術は海外諸国にも高く評価され、最近積極的に技術輸出されるようになった。

わが国におけるコールド圧延機による冷延帯鋼の生産高は図 1 に示すように設備増強とあいまつて昭和 33 年以降不況期を除いて順調な伸びを示しており、さらに近年の特徴としては特殊鋼帯鋼の圧延量が着実に伸びてきている。

これらの急激な伸びをささえたものは、表 3 に示すように昭和 33 年以降のほとんど毎年のように行なわれた新鋭タンデム圧延機の意欲的建設によるもので、圧延最高速度も順次高速化されてきており、6 スタンドタンデ

表 1 世界におけるコールドストリップ圧延機設置状況

	タンデム ミル	レバース ミル	ゼンジミヤ ミル	合計 基数
日本	23	23	29	75
アジア(除日本)	3	8	1	12
カナダ	3	9	4	16
米国	79	39	19	137
中南米	8	8	0	16
西ドイツ	11	15	6	32
フランス	6	10	17	33
ECSC(除西ドイツ, フランス)	11	15	5	31
イギリス	11	6	6	23
北 欧	6	15	7	28
ソ 連	10	1	2	13
東 欧(除ソ連)	8	3	2	13
その他(南ア オーストラリア)	4	3	2	9
合 計	183	155	100	438

\* 昭和48年4月10日受付(依頼技術資料)

\*\* 東洋鋼板(株)下松工場

表 2 世界における代表的な高速タンデム圧延機一覧表 (対象: 1800 m/min 以上)

会社名	メーカー	建設年	スタンド数	圧延最高速度 (m/min)	主電動機容量 (kW)	圧延機サイズ (in.)	被圧延材サイズ (mm)	
							板厚	最大板幅
J & L, Alquippa	Mesta	'45	5	1830	16 250	21½ & 53×42	0.15~0.9	965
U.S. Steel, Fairless	Mesta	'51	5	2 134	16 580	21 & 53×48	0.30~0.64	1 120
National Steel, Weirton	UE	'54	5	2 254	20 250	23 & 56×52	0.17~0.65	1 220
Bethlehem Steel, Sparrows Point	Mesta	'55	5	1 830	15 870	21 & 53×48	0.20~1.6	1 120
August Thyssen	UE	'58	5	1 830	16 875	23 & 54×49	0.15~1.6	1 050
Wheeling Steel, Yorkville	Mesta	'58	5	1 820	15 750	21 & 53×51	0.16~1.80	1 150
日本鋼管, 水江 No 2	UE	'61	5	1 830	16 800	24 & 56×56	0.15~1.6	1 235
Hoesch AG.	Siemag	'59	5	1 830	24 000	23 & 56×56	0.15~1.6	1 235
National Steel, Midwest	Mesta	'59	5	1 830	21 300	23 & 56×52	0.11~1.6	1 220
Y.S. & T, Indiana Harbor	Mesta	'61	6	2 175	24 375	23½ & 56×52	0.19~1.2	1 220
新日鉄, 戸畑 No 4	Mesta	'62	6	2 170	24 300	23 & 56×56	0.10~1.0	1 295
川鉄, 千葉 No 2	Mesta	'63	6	2 170	24 300	23 & 56×56	0.10~1.0	1 295
U.S. Steel, Fairfield	BK	'62	6	2 170	18 225	21/23 & 56×52	0.15~0.38	915
U.S. Steel, Gary	UE	'64	6	2 250	24 000	23 & 56×54 & 52	0.15~0.5	1 170
U.S. Steel, Irvin	E.W. Bliss	'66	5	1 910	31 050	26 & 60×84	0.30~4.2	1 930
新日鉄, 君津 No 2	日立	'68	5	1 800	46 000	26 & 60×86	0.25~3.2	2 080
Maritieme Staalnijver	Demag	'69	5	1 800	27 750	23 & 56×56	0.16~2.5	1 320
Cockervill-Ougree, Belgium	Sack	'69	5	1 800	19 500	23 & 53×48	0.15~0.5	1 050
Combinat Metallurgique	Secim	'69	5	1 845	18 000	23 & 53½×47½	0.05~1.9	1 100
Hoesch AG.	Sack	'70	5	1 800	42 750	24 & 60×72	0.3 ~3.0	1 680
Rasselstein AG.	Siemag	'70	6	2 370	33 200	24 & 57×57	0.15~1.0	1 300
Rudnici	Siemag	'70	5	1 800	25 050	23 & 57×57	0.3 ~2.5	1 300
新日鉄, 君津 No 3	日立	'70	6	2 500	34 490	23 & 56×56	0.20~1.2	1 280
新日鉄, 名古屋 No 3	I H I	'71	6	2 300	26 400	23 & 53×48	0.15~1.0	1 070
日本鋼管, 福山 No 2	I H I	'71	5	1 830	22 400	24 & 56×56	0.15~1.6	1 270
住金, 鹿島 No 1	三菱	'71	5	1 800	32 198	23 & 60×68	0.25~3.2	1 625

(圧延機サイズ WR径 & BUR径×WR 胴長を示す)

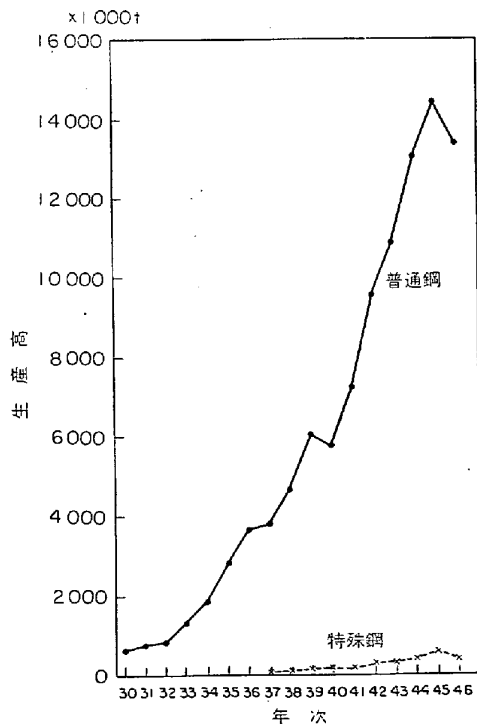


図 1 わが国におけるコールドストリップミルによる冷延帯鋼の生産高推移<sup>1)</sup>

ム圧延機の建設により一挙に 2 000 m/min を突破し、昭和 45 年ついに世界最高速度の 2 500 m/min のタンデム圧延機<sup>2)</sup>をわが国の技術によつて出現させるにいたつた。

わが国におけるタンデムコールド圧延機は現在表 3 に示すように総数 23 台設置されているが、この表からわかるように昭和 43 年以降に建設された 10 台のタンデム圧延機はすべて完全な国産品であり、国産技術による諸種の斬新なアイデアがみごとに生かされている。これらの特徴を例記してみると次のようになる。

- (1) 専用油圧々下圧延機の出現
- (2) 自動化、省力化の徹底的追求
- (3) 完全連続圧延機の出現
- (4) 圧延作業の高速化
- (5) コイルの大型化、広幅化
- (6) 補強ロール軸受へのローラー軸受の採用
- (7) 形状計の開発
- (8) 計算機制御の採用
- (9) 電源の SCR (Silicon Controlled Rectifier) 化
- (10) ASR (Automatic Speed Regulator) 制御の採用

表 3 わが国におけるタンデムホルドストリップ圧延機設備一覧表

会社名	メーカー	建設年月	スタンド数	圧延機サイズ (in.)	圧延最高速度 (m/min)	主電動機容量 (kW)	被圧延材サイズ (mm)		取扱最大コイル (t)	備考	
							厚	最大板幅			
新日鉄, 戸畑 No 1	Mesta	(S15,9)	4	21 & 53 × 56	924	10 800	0.2~2.3	1 270	18	わが国最初のタンデム圧延機	
新日鉄, 広畑 No 1	U.E.	S33-10 改造 S29-1	5	21 & 53 × 56	1 250	11 500	0.2~1.6	1 270	20		
新日鉄, 戸畑 No 2	Mesta	S29-3	5	21 & 53 × 42	1 220	9 780	0.15~1.6	965	14		
川鉄, 千葉 No 1	U.E.	S33-5	5	21½ & 53 × 56	1 370	15 750	0.15~3.2	1 270	20		
東洋, 下松 No 1	Mesta	S34-2	5	22 & 53 × 56	1 370	11 940	0.10~2.3	1 270	18		
新日鉄, 名古屋 No 1	U.E. 共	S36-4	5	21½ & 53½ × 56	1 430	14 200	0.2~2.3	1 270	20		
日本鋼管, 水江 No 2	U.E.	S36-4	5	24 & 56 × 56	1 830	16 800	0.15~1.6	1 235	20		S44 末, 循環給油方式切替 計算機
新日鉄, 戸畑 No 4	Mesta	S37-5	6	23 & 56 × 56	2 170	24 300	0.10~1.0	1 295	20		
川鉄, 千葉 No 2	Mesta	S38	6	23 & 56 × 56	2 170	24 300	0.10~1.0	1 295	20		
日新, 堺	共	(S38-5)	5	21¼ & 54 × 56	1 680	17 400	0.15~1.6	1 320	20		
住金, 和歌山	Mesta 船	S43-7 改造 S38	5	23 & 56 × 56	1 790	16 600	0.15~2.3	1 320	30		
日本鋼管, 福山 No 1	U.E.	S41	5	23 & 60 × 80	1 676	27 120	0.30~3.2	1 880	32		計算機 計算機 計算機 HYROP 油圧圧下(電動併用), 世界最大板幅圧延機 HYROP 油圧圧下(専用), スベ イオフリール式, 計算機 HYROP 油圧圧下, 世界最高速 圧延機, #1, 2 STD ローラ軸受 SN 式油圧圧下圧延機, ITV 形 状検出器, 計算機 HYROP 油圧圧下圧延機, 冷 延DR, パス兼用 完全連続圧延機, SN 油圧圧下 (#1.5 電動併用) 計算機 SN 式油圧圧下, DR 兼用圧延 機, 全 STD ローラ軸受 チンションローラ式油圧圧下圧延 機, 計算機 SN 式油圧圧下圧延機, 全 ST D ローラ軸受, 計算機 チンションローラ式油圧圧下圧延 機, #1, 2 SLD ローラ軸受
新日鉄, 名古屋 No 2	Mesta	S42-12	5	23 & 60 × 68	1 500	26 202	0.30~3.2	1 600	40		
新日鉄, 君津 No 2	日立	S43	5	26 & 60 × 86	1 800	46 000	0.25~3.2	2 080	60		
川鉄, 水島	日立	S44-10	5	24 & 60 × 68	1 500	24 525	0.25~3.2	1 600	50		
新日鉄, 君津 No 3	日立	S45	6	23 & 56 × 56	2 500	34 490	0.20~1.2	1 280	45		
新日鉄, 名古屋 No 3	IHI	S46-1	6	23 & 53 × 48	2 300	26 400	0.15~1.2	1 070	25		
川鉄, 千葉	日立	S45-5	3	23 & 54 × 49	1 524	9 450	0.08~1.8	1 120	21		
日本鋼管, 福山 No 2	IHI	S46-6	5	24 & 56 × 56	1 830	22 400	0.15~1.6	1 270	32		
東洋, 下松 No 2	IHI	(S46-8) S47-4 改造	3	23 & 56 × 56	1 500	13 000	0.10~2.3	1 270	36		
住金, 鹿島 No 1	三菱重工	S46-11	5	23 & 60 × 68	1 812	32 198	0.25~3.2	1 625	45		
神鋼, 加古川	IHI	S47-3	5	23 & 60 × 68	1 680	28 760	0.20~3.2	1 600	50		
川鉄, 千葉 No 3	三菱重工	S47-9	4	24 & 60 × 71	1 220	22 300	0.4~3.2	1 600	42		

(11) AGC(Automatic Gage Control), AEC Automatic Elongation Control) の採用

(12) 製品板厚の薄物化

つぎに、これらの技術的進歩についてそれぞれ説明を加えていきたい。

## 2. 生産性の向上

最近のコールド圧延機の生産性の向上はめざましくとくに設備面において:

(1) 圧延速度の向上

(2) 取り扱いコイルの大型化

(3) 自動化および省力化

などにより大幅な作業能率の向上が計られており、昭和46年には鉄鋼の圧延では世界で初めて完全連続式冷間圧延機<sup>4)5)</sup>が稼働を開始し、冷間圧延技術の分野に新しい技術を切り開き注目を浴びるにいたつた。

### 2.1 圧延速度の向上

5スタンドタンデム圧延機の仕様としては、National Steel Weirton Works の 2 254 m/min が最高で、U. S. Steel Fairless および Irvin Works の 2 134, 1 910 m/min の 2 基を除いては 1 800~1 845 m/min どまりであつたが、6スタンドタンデム圧延機の出現により、ついに 2 000 m/min を突破し 2 170~2 370 m/min 仕様の圧延機が現われ、さらに昭和46年わが国において 2 500 m/min<sup>3)</sup> のタンデム圧延機が建設されるにいたつた。

従来、実際操業面での最高圧延速度の限界については圧延技術者の間でロール冷却を含む圧延潤滑上の問題として長い間論議の対象となつており、良好な品質、とくに表面と形状を正常に保つた状態での最高圧延速度について、一般的には5スタンド圧延機では 1 500 m/min、6スタンド圧延機では 1 800 m/min が実際操業での限界と考えられていた。

しかし、圧延油ならびに圧延油給油システムの進歩によつて昭和39年以降一時中断していた6スタンド圧延機の建設が昭和45年、46年とわが国においてあいつぎ、その実際操業面においても牛脂ベースの圧延油の循環給油方式による 2 500 m/min の操業実績<sup>3)</sup>を出すにいたつた。また5スタンド圧延機においてもロールクーラント系統ならびに圧延油給油システムの改善などによる直接給油方式から循環給油方式への切り替えが行なわれ、圧延速度の向上に効果をあげた例が報告<sup>9)</sup>されている。他の多くの圧延機でも設備仕様上の最高圧延速度での操業が可能になつてきている。このように地味ではあるが一歩一歩と操業圧延速度の向上が進められている

のが現状である。

しかしながら、さらに増大する高速化の要求に対して、圧延潤滑油については、厚物中心の薄板圧延機において牛脂ベース油の循環給油方式、薄物主体で表面性状の厳しいぶりき用圧延機ではパーム油の直接給油方式と基本的には従来とまったく同じ方式が採用されているのが実状である。圧延油の圧延性能の評価方法の確立とともに、圧延油とくに合成圧延油の開発および圧延油給油システムの改善は現在の圧延技術で最も取り残された問題として大きくクローズアップされてきている。

### 2.2 取り扱いコイルの大型化

最近のコールド圧延機における取り扱いコイルの大型化は顕著であり(表3参照)圧延スラブの大型化(最大単量30~35 t)に伴い、コイル単量も40~60 tと従来の圧延機の2倍以上に増加し、コイル外径についても2 500 mm を越すものも数多く建設されている。また薄板圧延機において板幅 2 000 mm が圧延可能ないわゆる 80 in. 圧延機が 1965 年 U. S. Steel 社 Gary 工場稼働して以来すでに 10 基を越え、国内でも 1 基<sup>2)</sup>稼働している。このような広幅圧延機においては狭幅の製品に対しては、ロール・ベンディングなどの適正使用によりストリップ・クラウンを少なくすることが可能となつたため、倍尺で冷間圧延し、最終工程で2分割スリットするといった方法で生産性の向上に寄与している。

また取り扱いコイルの大型化、大径化は作業能率の向上をもたらす一方、人間の手によるコイルの取り扱いを困難にし、その結果として、コイルハンドリングの自動化、省力化を進めることとなつた。

### 2.3 自動化および省力化

近年の圧延機でとくに進歩の著しいのが自動化、省力化であり、各圧延機ともこれらを積極的に採用し、作業員の減少、作業負担の軽減に効果をあげ生産性の向上に大きく貢献している。

自動化、省力化のおもな項目としては:

(1) 入・出側コイルハンドリング

(2) 自動通板

(3) ロール組替

などがあげられる。またこれらの自動化はその制御やプリセットにおいては計算機制御の一部として取り入れられる場合が多く、この点からは計算機導入に際して、省力化の面で大きなメリットになつている。

#### 2.3.1 入側コイルハンドリング自動化

入側コイルハンドリングでは、従来よりコイルの移送、コイルカーの走行、コイル幅、外径の検出、巻戻機への自動装入などはほぼ問題なく行なわれているが、自動化

が困難視されていたのは:

- (1) コイルのバンド・カットおよびバンド処理
- (2) コイルの口開き

の 2 点であり、この両方とも完全に自動化されている圧延機は現在でも非常に少ない。バンド・カットの方法にはエア・シリンダーでカッターを作動させるものや、口開きと同時にバンド・カットを行なうものがあるが、いずれの場合もコイルに対して、ある程度の疵つきが生じることは現状ではやむをえない。

また口開き作業についてはコイル先端の検出装置が問題であるが、先端検出はコイル外径の階段的变化を大小 2 個のローラの相対的変位で検出する方法により自動化が可能<sup>2)</sup> となつてきている。

### 2.3.2 2 ペイオフィール式巻戻機<sup>2)</sup>

従来のコールド圧延機では入側に 1 台のペイオフィールしか設置されていないが、おもにコイルハンドリング時間を減少させる目的で、プロセス・ラインと同様な 2 ペイオフィール方式が一部の圧延機に採用されつつある。

2 ペイオフィール方式の特徴としては:

- (1) コイル径が小さい、あるいは板厚が厚いなど、圧延時間が短い場合、コイルハンドリングによる不働時間が短縮できる。
- (2) ストリップが No 1 STD に噛み込むと同時に後方張力がかけられる。
- (3) 大型コイルの場合、クレードル・ロールによる転動疵が防止できる。また、コイルカーのクレードル・ロールが不要となる。

などがあげられる。また欠点としては当然のごとく設備費が高くなることであるが、上記の利点にあわせて、この 2 ペイオフィール方式は後述する完全連続式圧延機の前段階として考えるならば、入側設備として必要不可欠なものとなつてくるであろう。

### 2.3.3 自動通板

タンデムコールド圧延機においては通板、尻抜き作業の良否が稼働率を決定するといつても過言ではなく、それゆえ、自動通板に関しては、種々の方策が試みられてきており、現在ではほぼ満足されるまで自動化、省力化されている。

自動通板の一般的な方式としては、次のシーケンスに分けられる。

- (1) 通板ガイドによるストリップの案内  
上ぞり防止ガイド、中間ガイド、マグネットコンベア、中間ロールの昇降装置などの設置
- (2) ガイド類の自動操作

ロール噛み込み信号により作動させる

- (3) エンドの尻抜き、重量分割のための自動減速
- (4) ストリップの蛇行対策

○ サイド・ガイドのみによる方法

自動設定によるローラサイドガイドの使用、急速開閉機構の設置

○ 蛇行修正を行なう方法

蛇行検出器の精度、板形状の影響などにより実際にはほとんど使用されていない。

- (5) 通板、尻抜き時の絞り込み防止対策

通板、尻抜き時の自動板押えおよびサイド・ガイドの急速開閉機構の設置

以上のような各シーケンスの組合せにより自動通板を行ない、ITV を利用して、通板状況を監視している。しかし 0.5 mm 程度以上の厚物に対しては、ほぼ満足できる状態で自動通板されているが、ぶりき、亜鉛鉄板用などの薄物 (0.4 mm 以下) の圧延においてはおもに通板形状の不安定さに起因する絞り込みの防止のために、通板監視員を必要としている。

### 2.3.4 出側コイルハンドリングおよびコイルバンディング

出側コイルハンドリングとしては、コイル表裏面の検査を除き、コイルエンドの定位置停止に始まり、コイル抜き取り、コンベアへの移載および移送、スプール装入、エプロン、ベルトラッパーの装着などほとんど自動化されている。従来コイルエンドによる検出器破損により問題とされていたコイルカーの待機位置制御も計算機による外径指示や押えロールとコイルカーの同調回路の採用<sup>3)</sup> などにより解決されている。

コイルバンディングは各種のコイルバンディングマシンが開発され、シールかしめタイプやスポット溶接タイプなどがある。

### 2.3.5 ロール組替

圧延作業におけるロール組替の頻度はかなり多く稼働率向上のためには、このロール組替の時間短縮および自動化は必要不可欠なものである。

作業ロール組替方式としては、最近ではターンテーブル方式またはサイドシフト方式のいずれかが採用され、自動化が容易となつた。

これらの方式は組替時間が従来の 1 スタンド当たり 10 ~ 15 min を約半分の 5 ~ 7 min に短縮することができ、しかも天井走行クレーンを使用しないですむため、全スタンド同時組替も可能であるという大きな利点も持つている。

またこの 2 つの方式のうちタンデム圧延機においてサ

イドシフト方式が圧倒的に多く採用されているのは、ターンテーブル方式と比較し次のような長所があるためである。

(1) 台車式であるので新ロールアッセンブリを載せて、圧延時には圧延作業に支障のない位置で待機できる。

(2) ロール胴長の長い超広幅圧延機に用いても、胴長方向の寸法が長くなるのみで、とくにタンデム圧延機のスタンド間寸法を広げる必要がない。

(3) 台車上に上下ロールアッセンブリを引き出すため、作業ロールチャックの形状が簡単でロールショップでの取り扱いも便利である。

補強ロールの組替方式は大半が油圧スレッド方式を用い、上下ロールを一度に組替えており、これについても最新の圧延機は自動化されてきている。

#### 2.3.6 地下室集中監視

地下室内の各種潤滑、給油システムの起動および停止の運転操作ならびに運転中の温度、圧力などの調整、操作が地上に設置された集中監視盤により行なえるようになっており、セラーマンの作業の省力化と効率的監視体制を作り上げている。

#### 2.4 完全連続式冷間圧延機<sup>4)5)</sup>

これまで述べてきた自動化のうち、種々の困難さのため最も遅れているのが自動通板、すなわちコイルごとの尻抜き、通板作業である。また現状ではこの通板、尻抜き作業が圧延機の稼働率を決める大きな要因であることは前述したとおりである。そこでこの問題を解決するために、通常のプロセス・ラインと同様な完全連続式のコールド圧延機が計画され、1971年日本鋼管福山製鉄所に鉄鋼の圧延としては世界で初めて建設され稼働を始めた。

完全連続式圧延機の利点としては、次の点が挙げられる。

##### (1) 稼働率の向上

コイルごとの通板尻抜き作業による時間損失がなくなり、それに付随する異常がなくなるなどの結果、稼働率の大幅な向上（平均で50%向上）が期待できる。

とくに圧延サイクルの短いシート・ゲージではその効果が著しい。

##### (2) 歩留の向上

出側シャーの剪断速度範囲では、コイルのトップおよびエンドのオフゲージを著しく減少できる（従来の1/5以下）

##### (3) 品質の向上

通板尻抜き時の絞りマークやロールマークの発生が減少できる。

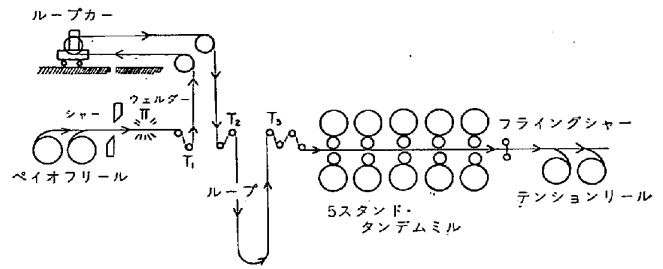


図2 完全連続式ミルの概要図<sup>6)</sup>

##### (4) 省力化

通板尻抜き作業がなくなるので、スタンド廻りのオペレーターが2名で運転可能である。

##### (5) その他

通板尻抜き事故激減によるロール原単位の向上および圧延機のワンマン・コントロールが可能となり、作業環境が向上する。

図2に完全連続式圧延機の概要図を示すが、この圧延機での設備上および作業上の特長は次の点である。

##### (1) 入側ストリップ貯蔵設備

ループカー方式で貯蔵量は280m長

##### (2) 溶接部検出装置

##### (3) 計算機制御によるストリップトラッキング制御

##### (4) 計算機制御による走間板厚変更

##### (5) 走間剪断および2基のテンションリールへのスリップ振分け装置

##### (6) ストリップがスタンド内にある状態のままワークロール組替が可能ワークロール組替装置の改良

この完全連続式圧延機の成功は、レバース圧延機からタンデム圧延機へ移行して爆発的に生産量の増え、タンデム圧延機が計算機制御の導入という助けを借りて、完全連続化が可能となり、生産性の向上に大きく役立つという点において、今後のストリップ圧延のひとつの方向を示すものとして、大いに注目を集めている。

### 3. 設備面の進歩

#### 3.1 油圧圧下圧延機の出現

電動圧下方式による圧下量の制御は、モーターと圧下スクリュウにより行なっており、現状では、モーター、圧下スクリュウ部、ウォーム減速機など機械が大型となつて、慣性が大きくなつたこと、圧下スクリュウの動力伝達効率の低いことなどの原因で、高速化した圧延機の板厚制御には、不向きとなり、とくに歩留り向上を目的とした加減速中の板厚制御が困難であつた。これに対する方策として圧下モーターの容量を大きくして、加速に振りむける割合を高めるとか、圧下ネジ下端のスラスト

メタルをローラーベアリングに変え、摩擦抵抗の減少を計るとか、さらには圧下スクリーを油圧シリンダーで駆動するホイラーシステムにするとか、各種の方式が考えられてきた。

しかし、現在、鉄鋼および非鉄の板圧延設備において、製品の品質や板厚精度に対する要求は、ますますきびしくなつてきている。加えて、製品歩留向上、あるいは、圧延速度の増大に対する要求度を考慮すると、従来の電動圧下方式では十分に対処できにくい点もあり、ここに油圧圧下装置が開発されるにいたつた。

板圧延機の圧下装置に要求される性能は：

- (1) 速い応答速度
- (2) 高精度
- (3) 耐久性

であり、この要求を満足させるべく新しい油圧圧下方式が脚光を浴びてきている。

代表的な油圧圧下方式としては：

- (1) 定油量制御方式<sup>6)</sup>
  - (2) コンプレッションバーまたはマグネスケールとサーボバルブ方式<sup>7)</sup>
  - (3) テンションバーとサーボバルブ方式<sup>8)</sup>
- などの油圧圧下圧延機があり、高精度の製品が生産されている。

### 3.1.1 油圧圧下圧延機の特長

従来の電動圧下方式の圧延機に比較して、油圧圧下圧延機には、次のような特長がある。

- (1) 応答速度が速い

電動圧下方式では、大容量モーターで駆動するため、制御系の遅れも大きくなる上に、慣性が大きく、起動後も所定速度に達するまでに時間を要し、また停止指令後から停止までにも時間遅れを生じる。この値は、負荷の大小によつて変動する欠点があるのに対し、油圧圧下圧延機では圧下応答が速いため(図3参照)、加減速時お

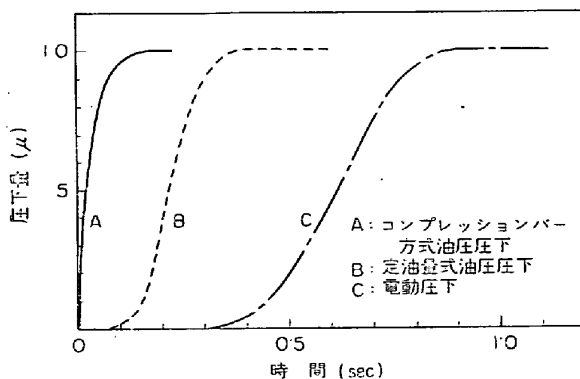


図3 各種圧下装置のステップ応答<sup>6)24)</sup>

表4 ミル定数配列例

		(t/mm)		
		タンデムコールドミル (5スタンド)	スキンパスミル (2スタンド)	DRミル (2スタンド)
No 1	S T D	2 000~3 000	200~300	600~1 000
No 2	S T D	2 000~3 000	200~300	200~300
No 3	S T D	600~700		
No 4	S T D	600~700		
No 5	S T D	300~600		

よび溶接点での板厚精度の改善ができ、オンゲージ率が向上する。

- (2) 圧延機定数が可変である

圧下応答が速いというメリットを利用して、制御回路の調節により、圧延機定数を等価的に制御することができ、圧延条件により任意の値を選定して使用することができる。タンデム圧延機のミル定数は普通 No 1, 2 スタンドは板厚精度向上のため stiff 制御を行ない最終スタンドは形状制御主体のため soft 制御を採用している。表4にミル定数配列の一例を示す。

- (3) ロール組替の迅速化

ロール組替時間をできるだけ短縮して、稼働率を高めることは、圧延設備の高速、高能率化とともに重要であり、特に作業ロール組替は、頻繁に行なわれるので、その要請は強い。油圧圧下圧延機では、圧下スクリーがないため、ロールギャップを急速開放することができ、この要請に答えている。

- (4) 事故に対する安全性の向上

高速度圧延中のストリップの切断、絞り込みあるいは設備事故などによる過負荷を生じて、あらかじめ設定した圧延荷重以上になつた場合は自動的にパイロットバルブから排油する方法、ならびにストリップの破断信号などにより、ロールギャップの急速開放または、圧延荷重一定制御への切替を行ない、ロール損傷を軽減する方法が採用されている。

- (5) 品質の向上

調質圧延機において、オイルスポットは禁物であり、スタンド上部の電動圧下装置からの油洩れには最も神経を使うところであるが、油圧圧下方式では圧下シリンダーがハウジング下部に設置されており、この問題は無い。

### 3.1.2 油圧圧下の原理

(1) コンプレッションバーおよびテンションバー式油圧圧下圧延機原理図を図4に示す。

ロールギャップ ( $S$ ) を初期ギャップ ( $S_0$ ) と圧延荷重 ( $P_R$ )、バー荷重 ( $P_B$ ) の関数で表わせば、

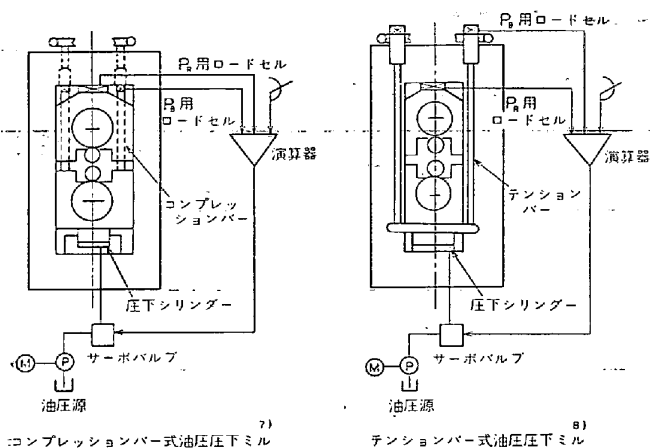


図4 コンプレッションバー式およびテンションバー式油圧圧下ミルの原理図

$$S = S_0 - P_B / K_B + P_R / K_R$$

となる、ここで  $K_B$ 、 $K_R$  は圧延機の構造によつて決まる。 $P_B / K_B$  はバーに負荷がかかつたときのロールギャップの変化分に、 $P_R / K_R$  は圧延荷重発生の際のロールギャップの変化分におよそ等しくなる。いま、 $P_B / P_R = K_2$  となるよう十分に早い制御をすれば次のようになる。ここで  $K_2$  は定数である。

$$S - S_0 = P_R / K_R - K_2 P_R / K_B = (1 / K_R - K_2 / K_B) \cdot P_R = P_R / K_{eq}$$

$S - S_0$  は  $P_R$  に比例し、 $K_2$  の選択により比例定数は任意に変化させることができる。

- $K_{eq} = K_B K_R / (K_B - K_2 K_R) \dots \dots$  等価ミル定数
- $K_2 = K_B / K_R$  に設定すると  $K_{eq} = \infty$  となる
- $K_2 = 0$  に設定すると  $K_{eq} = K_R$  となる
- $K_2 < 0$  に設定すると  $K_{eq} < K_R$  となり soft な圧延機定数となる

$K_2$  と等価圧延機定数の関係を図5に示す。

(2) 定油量制御式 (HYROP) 油圧圧下圧延機原理図を図6に示す。

圧下指令によつて油圧モータ a が一定の回転を行ない、それに比例した量だけナットが移動し、それによりレバーが中間シリンダーのピストンロッド先端を支点として、パイロットバルブのスプールを押し上げる。このとき、今までパイロットバルブにより閉じられていた中間シリンダーとポンプおよび油タンクとの連結が、パイロットバルブを介して通じることになり、中間シリンダーのピストンは押し下げられて今度は逆にナットを中心としてレバーが回転し、パイロットバルブのスプールは下降し、中立点まで来て中間シリンダーへの油の回路を閉じる。すなわち圧下操作が終わつた時点では、パイロットバルブは元の中立点に戻り、ナットの移動量に比例

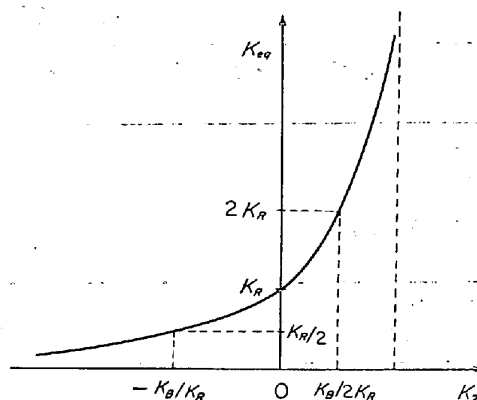


図5  $K_2$  と等価ミル定数の関係<sup>7)</sup>

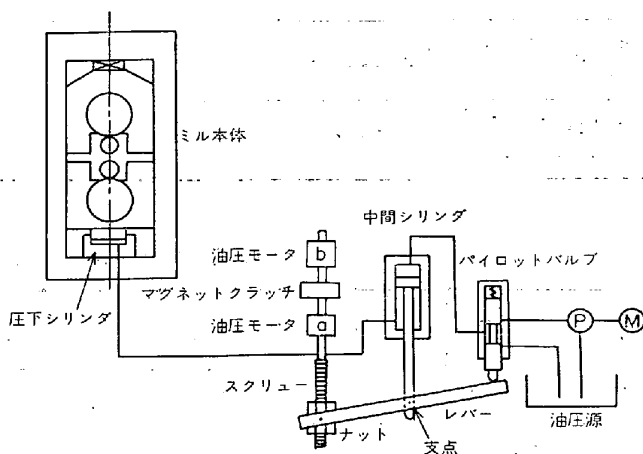


図6 定油量制御式 (HYROP) 油圧圧下ミルの原理図

したストロークだけ中間シリンダーのピストンは移動し、それにより、圧下シリンダーへ油圧モータの回転数に比例した油量が送り込まれることになる。

ロールギャップを開く圧下操作の場合、油圧モータを逆転することによつて同じように作動する。この場合中間シリンダーと油タンクがパイロットバルブを介して連結される。

### 3.2 補強ロール軸受へのローラー軸受の採用<sup>10)</sup>

従来の冷間圧延機の補強ロール軸受には、ハイドロ・ダイナミック型油膜軸受が広く採用されており、多くのメリットを持っているにもかかわらず大きな欠点として：

- (1) 低速高圧下時の軸受メタル焼損
- (2) 高圧下時の起動特性の悪さ
- (3) 低速から高速までの速度変化に伴う油膜厚みの変化と摩擦係数の変化によるオフゲージの発生

などの問題が残されており、これらの対策として、ハイドロスタティック機構の設置ならびに計算機導入による油膜補正制御、加減速厚み制御などが採用されてきた。



表 5 補強ロール用ローラー軸受の実績

	圧延機サイズ (in.)	最高速度 (m/min)	ベアリングサイズ (mm)	動定格荷重 (t)	潤滑方法	備 考
川鉄千葉 4 STD TM	24 & 60×71	1 200	920×1 280×850	2 250	オイルミスト	No 1, 2 STD に採用 No 2 STD Speed 870 m/min
東洋下松 3 STD DCR	24 & 56×56	1 500	850×1 180×850	2 020	オイルミスト	
日本鋼管福山 2 STD DCR	24 & 56×56	1 350	840×1 110×710	1 530	オイルミスト	
川鉄水島 2 STD PASS	23 & 60×66	1 500	860×1 160×710	1 930	オイルミスト	
新日鉄君津 6 STD TM	23 & 56×56	2 500	850×1 180×850	2 020	オイルミスト	No 1, 2 STD採用 No 2 STD Speed 750 m/min
住金鹿島 1 STD PASS	23 & 60×68	1 500	900×1 230×870	2 050	オイルミスト	
新日鉄名古屋 1 STD PASS	23 & 68×66	1 200	862×1 220×890	1 675	オイルミスト	

表 6 補強ロール用ローラー軸受と油膜軸受の比較

項目	軸受型式 4列円筒コロ軸受+スラスト軸受	油膜軸受+スラスト軸受
型 式	850 mm $\phi$ × 1 180 mm $\phi$ × 800 mm <i>l</i>	(例) 882·65 $\phi$ × 637 mm <i>l</i>
負 荷 容 量	2 020 t	1 459 t
速 度 限 界	Max. 1 600 m/min 問題点: スベリ接触部分の発熱による焼付	Max. 2 000~2 500 m/min
始 動 特 性	始動トルクは油膜軸受より小さくてよい。 始動直後より負荷でき低速から高速までの摩擦係数の変化が小さい。	油膜形式の関係上始動直後から負荷できない。 低速側使用限界 約 100 m/min
精 度 (軸 受 精 度)	ラジアルすきま 0·2~0·35 mm ラジアル振れ Max. 20 $\mu$ 内輪偏芯 Min. 5~10 $\mu$ コロ寸法相互差 Min. 3 $\mu$	約 0·8 mm
精 度 (回 転 精 度)	回転数潤滑剤の変化による差は非常に少なく、 製作時(主として内輪偏肉)により決まる。 圧延荷重の変化によりベアリングの弾性変形 のため軸心は変化する。 約 0·01 mm/t 運転時の精度 10~20 $\mu$	運転時の精度 10~40 $\mu$
摩 擦 係 数 ( $\mu$ )	0·0015~0·004 $\mu$ の変動は非常に少ない。	0·0012~0·003 (高速運転時) $\mu$ の変動は多い。 回転数, 油の粘度, 温度により変動
軸 受 寿 命	計算寿命.....1·5年 推定寿命.....3·5年 最近の実績として実寿命は計算寿命の 2~3倍に上昇している。	実績実寿命.....5·0年
潤 滑	オイルミスト方式 油粘度 1 500~2 000 S S U 油消費量 約 300 l / 月	強制循環給油方式 油粘度 800~1 500 S S U 油消費量 約 700 l / 月

さらに、これらの問題を解決するために、Bethlehem Steel, Burns Harbor での採用を皮切りに、建設費が安いことおよび表 6 に示すような油膜軸受に見られない長所が認められて、1600 m/min 以下の低速スタンドを中心に近年ローラー軸受が広く採用され実績をもつにいたつた。(表 5 参照)。

補強ロール軸受にローラー軸受を採用するメリットとしては、次のことがあげられる<sup>11)</sup>。

(1) 設備費の低減

油膜軸受を使用する場合は、大容量でかつ精密に温度制御された循環給油システムが必要不可欠であるが、ローラー軸受では、オイルミスト潤滑ですむので建設費が安い。

(2) 運転費の軽減

(a) オイルミスト潤滑方式により油消費量を軽減することができる。(b) 低速時の摩擦抵抗が小さく、空転馬力が少ない。(c) 起動時、補強ロールと作業ロール間でのスリップが解消されロールの損傷を防止できる。(d) 高圧下、低速運転時の軸受損傷に有利である。

(3) 製品、品質・精度の向上

(a) 低速から高速までの速度変化に対して軸受隙間の変化が小さい。(b) 軸受軌道面と補強ロールバレル

面との偏心を小さくすることができる。

以上のようなメリットはあるが、一方ローラー軸受の現時点での問題点として、次のことが指摘されている。

(1) 高速に対する信頼性 (特に 2000 m/min 以上)

(2) 調質圧延機における軸受部の昇温による補強ロールクラウンの変化。

(3) 調質圧延機におけるミストオイルの散逸。

補強ロール用のローラー軸受と油膜軸受の比較を表 6 に示す。

4. 電気設備制御面の進歩

近年における圧延設備用制御装置は、高品質の製品を歩留よく高能率に生産することが課題とされ、各種自動化がとり入れられるとともに、サイリスター、トランジスタなどの制御要素の発達により圧延設備分野に適用可能となり、その目的を達している。

ここでは、従来の制御方式に比較し著しい進歩をとげた制御装置について述べる。

4.1 主機制御装置の進歩

主機駆動の直流電源は、従来同期電動機-直流発電機の組合わせによる MG セットにより得られていたが、最近では、SCR が速応性、高効率、保守の容易さ、低

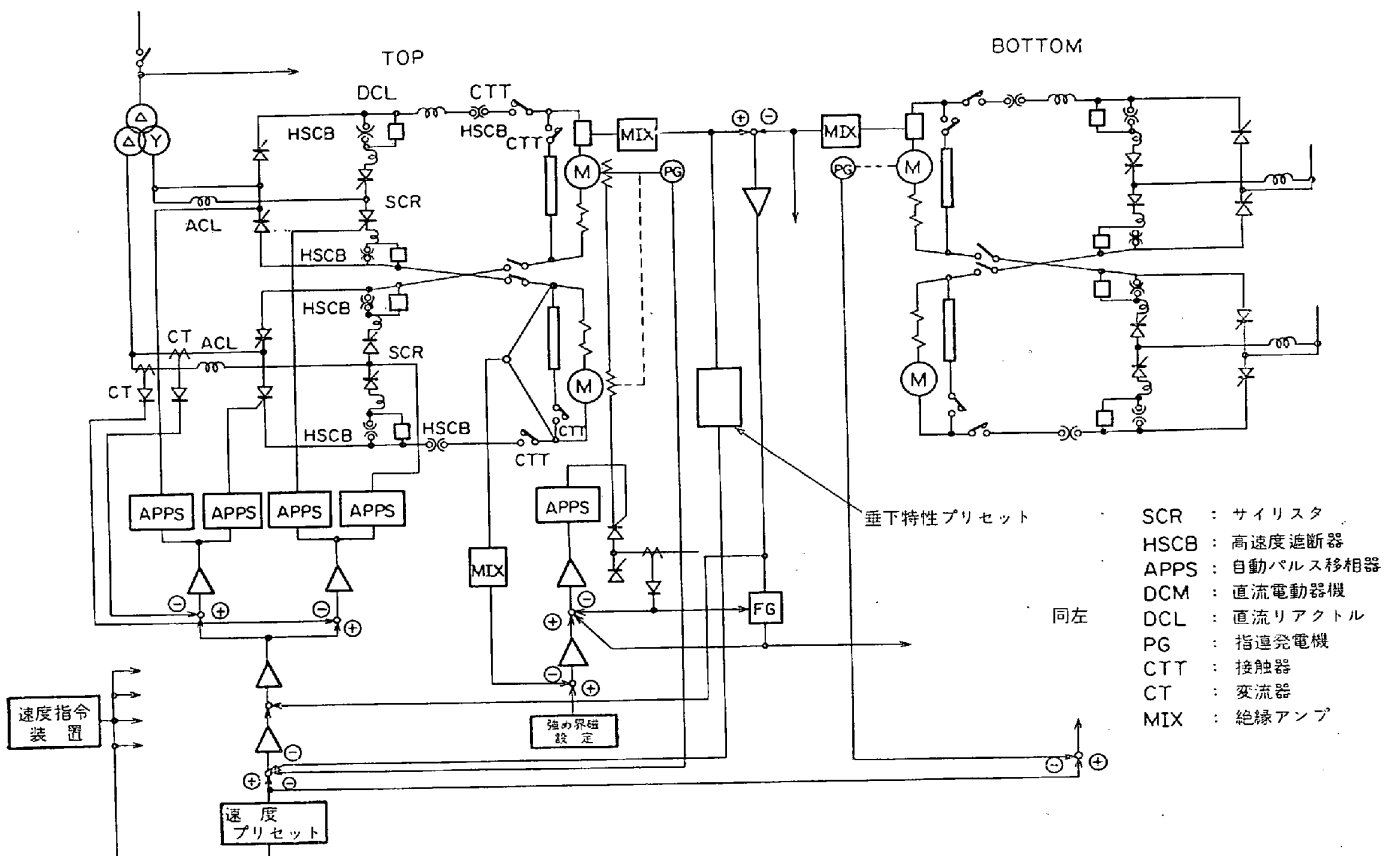


図 7 主スタンド制御結線図<sup>12)</sup>

設備費などの利点から広く採用されるにいたつた。

SCR が圧延機の駆動電源に用いられてからすでに 9～10 年の実績を持つているが、最近の特徴としては：

(1) 素子の性能向上

(2) 主機 SCR の結線方式として、無循環電流逆並列接続方式が採用され、初期の循環電流十字結線方式に比べ、安定な運転および設備費、運転費の低減が計られていることなどがあげられる。

また SCR の採用に伴い、主機制御には、従来の AVR+IR 補償制御に代つて 100% IR 補償した ASR 制御<sup>12)</sup>が採用されている。ASR 制御には、通常マイナー電流制御回路を設けた自動界磁弱め制御方式が採用され、非常に応答の速い速度制御系の構成が可能となつた。これにより速度偏差のない加減速が行なわれ、オフゲージの減少が計られるとともに、通板嚙込時、電動機は強め界磁にあるため最大トルクが利用でき、加減速時間の短縮が計られ、更に単一指令であるのでコンピューターとの直結に有利などの多くの利点をもつている。

図 7 は、双駆動方式の SCR 電減を採用したスタンド制御装置の一例を示すものである。

#### 4.2 AGC (Automatic Gauge Control)

一般にタンデムコールド圧延機の AGC は、No 1, 2 スタンドの圧下による粗制御と、No 4, 5 スタンド (または最終スタンドのみ) の張力による微細制御とのそれぞれ独立した系統から構成されている。この基本システムは、今日においても変わつていない。

従来、厚みの粗制御用として、適用された圧下 AGC は、X 線厚み計を使用したフィードバック制御方式と BISRA 方式が実用化されていたが、両者ともに圧下駆動系は、MG セット、圧下電動機、圧下スクリューの組合わせによる電動圧下方式であり、応答も遅く溶接点通過などの急激な厚み変化や、早い周期の厚み変化に対しては追従困難であつた。また X 線厚み計を使用したフィードバック制御方式では、圧下にフィードバックするとき厚み計の取付位置により発生する検出むだ時間があるために、サンプリング制御方式<sup>13)</sup>が適用されていたが、油圧圧下の出現による圧下系応答の改善、および IC など制御素子の発達による制御回路の改善などにより、比例+積分または、むだ時間補償回路をもつた連続制御方式が採用されて制御系の応答、および安定性が大きく改善されている。

BISRA 方式は、1955 年に発表され実用化されていたが、圧下応答の点で問題が残つており今日では、油圧圧下方式の採用によりこの点では改善はされたものの、ロール偏心、油膜厚み変化に対しては、誤差を増大させる

ので何らかの補償が必要であり、ロール偏心検出器を用いた適正な補償の点でまだ問題が残されている。

またデジタル計算機の導入により複雑なループゲインの予測計算が可能となり、No 1 スタンド前に X 線厚み計を設置したフィードフォワード制御方式も考えられている。この方式は、正確な入側速度の検出およびロール偏心、油膜厚みの検出が必要であり、現時点では、この点での問題が残つている。

最終スタンドの微細制御用張力 AGC は、最終スタンド出側に設置された X 線厚み計により、最終スタンドまたは、最終スタンドと最終前スタンドの速度制御を行なうフィードバック制御方式が採用されている。

従来の制御系に比べ、主機電源が SCR 化され、AGC 系の応答は著しく改善されている。

図 8 は 5 スタンドタンデムコールド圧延機の AGC の一例を示すもので加減速中の補強ロール軸受の油膜厚みおよび作業ロールとストリップとの間の摩擦係数の変化を補償する速度効果補償回路も付加され、さらに操業の安定性を増すためにスタンド間の張力制御回路も適用されている。これらは、圧下系応答が改善されたことと、圧延現象の理論解析が進んだことにより可能となつてきたものである。

#### 4.3 AEC (Automatic Elongation Control)

調質圧延工程において、均一な機械的性質への要求は、表面、形状とともに非常に厳しくなつている。この機械的性質の調質圧延作業上での管理は伸率を所定の値に保つことにより行なわれるが、従来の伸率制御は、伸率計を見ながら圧延荷重または張力調整するといった手動操作によつており、とくに加減速中における伸率一定の操作は、表面形状の監視作業と重なりほとんど不可能な状態であつた。

しかし今日では、こうした需要家の製品品質に対する厳しい要求とともに、エレクトロニクス関連技術のめざましい発展にとともに、伸率制御の自動化も AGC 設備と同様に常識化され、最近建設の調質圧延設備には例外なく伸率一定制御装置を組込んでいる。また制御系自体もアナログ制御からデジタル制御に移りつつあり、さらにプロセスコンピュータを導入し、直接伸率を計算させるとともに材料や速度によつて変わる複雑な制御系ゲインや位相を計算させる DDC (Direct Digital Control) 方式の制御も検討されている。

調質圧延においてドライ圧延の場合、ロールとストリップ間の摩擦係数が高く、圧下による伸率の効果はきわめて小さい<sup>14)</sup>。したがつて 2 スタンド圧延機におけるドライ圧延の場合にはスタンド間張力により、またウェッ

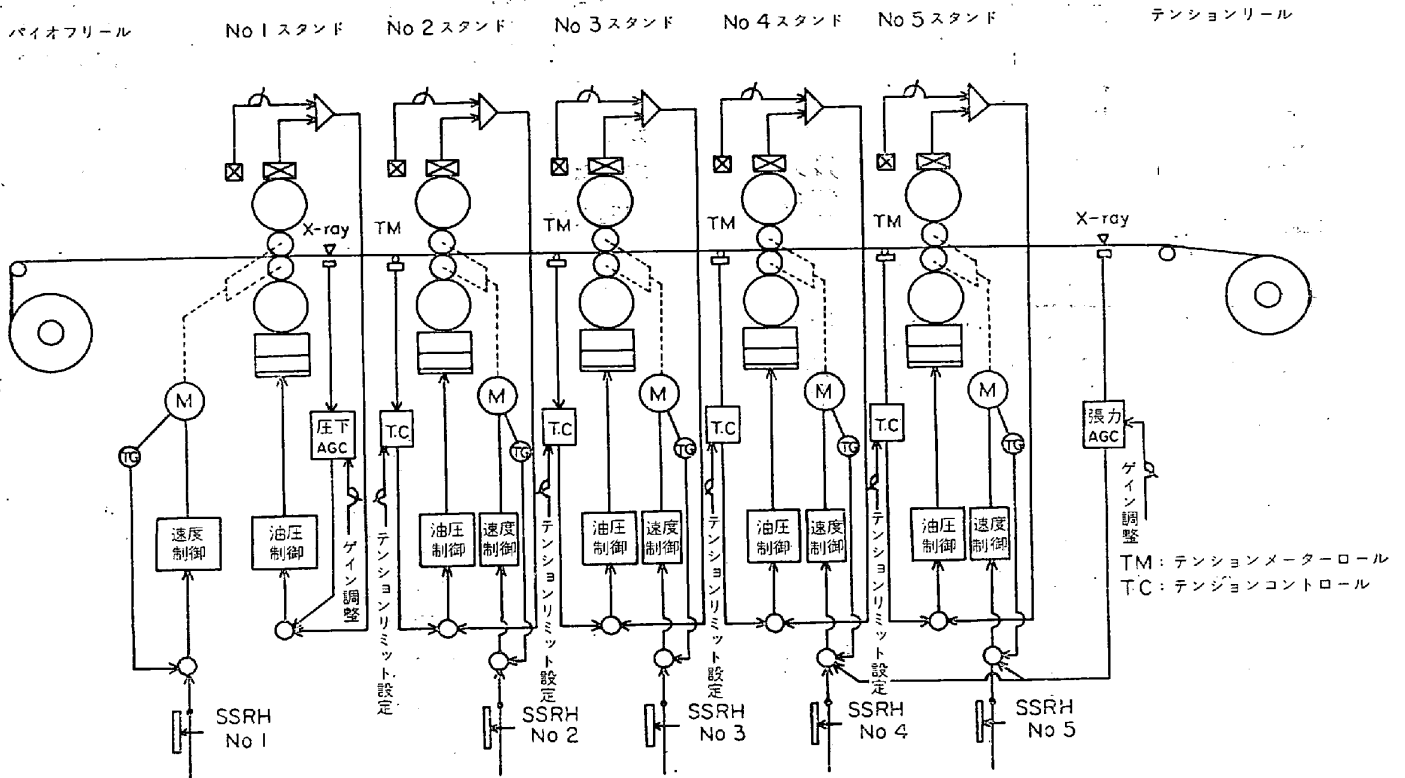


図8 5スタンドタンデムコールドミル AGC 系統図

ト圧延の場合には No 1 スタンドの圧下により制御系を構成している。そのほかに、伸率制御システム全体としては材料の厚み変動およびロールの偏心に対処するために圧下応答の速い油圧圧下式圧延機を設置し、圧延荷重一定制御を行なっている。

また加減速時の補強ロール軸受の油膜変化および作業ロールとストリップ間の摩擦係数の変化などによる伸率の変化に対しては、関数発生器を用いおのおのの圧延速度に対し一定量の補償を行なうフィードフォワード制御方式も付加されている。

以上述べた各種制御系の採用によつて、調質圧延工程での伸率一定制御は  $\pm 0.1\%$  の範囲に納めることができるようになり、著しい品質向上を達成している。

### 5. 計算機制御の採用

タンデム圧延機における高速化、高生産性化、品質の高度化の要望は、従来ますます強められるであろうが、これに対処するに、従来の操業技術の改善向上のみに依存することではすでに限界に達していると考えられる、今後これを克服するための有力な手段としては、人力のおよばない範囲までその改善内容を拡大できる計算機制御の採用であろうことは容易に推定できる。

前項までに、すでに実用化されている各種の制御装置

の概要を述べたが、これら各ローカル制御装置を統括的に制御し、圧延サイクルの複雑な変化に追従した適切な判断処置を実行するには計算機制御が最も適している。終局の目的である圧延作業の全自動化までには到達していないが、各種の制御システム、検出端の開発および数式モデルの開発が進めば、近い将来完全に計算機制御されたタンデム圧延機が出現するであろう。

コンピュータを導入する効果として次のような項目があげられる。

- (1) 操業、品質の安定が可能となる
- (2) 事故、不良発生が減少し、歩留の向上が図れる
- (3) 操作要員を大幅に削減でき、圧延機運転の必要熟練度低減が可能となる
- (4) 管理情報の即応性、高度化が可能となる

#### 5.1 システムの概要<sup>15)</sup>

制御用デジタルコンピュータをタンデム冷間圧延機に導入する場合のシステム構成の一例を図9に示す。この図に示すように冷延プロセスではコンピュータでなす全機能を1台の大型コンピュータで処理させる形式をとるのが通常である。AGC, ATC (Automatic Tension Control) などの各種マイナー制御ループおよび APC 装置 (Automatic Preset-Control) は従来ハードの自動制御装置として別個に設置されていたが、最近

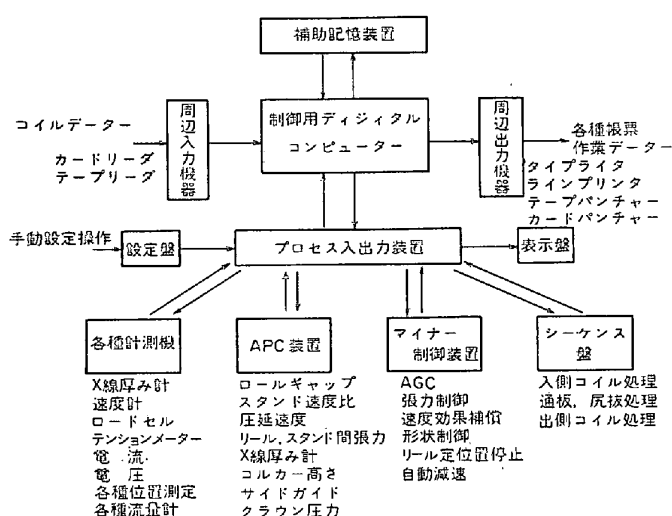


図9 タンデムミルのコンピュータコントロール  
ハードウェア構成図<sup>15)</sup>

ではコンピューターの性能および信頼性の向上により、従来の自動制御装置を削除して DDC (Direct Digital Control) 方式を採用する傾向にある。

また、DDC 用の小型コンピューターを数台設置し、それぞれ専用にマイナー制御ループ、APC 装置、コイルハンドリングを受持たせる方式も考えられている。この方式では、コンピューターがダウンした場合、一部の機能のみが手動操作となり圧延機運転に与える影響が小さいというメリットはあるが、投資額がかさみ、コンピューターの信頼性が向上してきた現状では得策でないといわれている。

機能として次のごとき項目があげられる。

- (1) 圧延状況の監視・把握
- (2) 初期設定および圧延中の設定修正
- (3) マイナー制御ループの最適化
- (4) シーケンス制御
- (5) 管理資料の作成、その他

以下わが国における実用圧延機での具体的な使用例を中心にして計算機制御機能を説明していく。

## 5.2 コイルトラッキング制御

制御対象のコイルの動きや圧延状況を追跡、把握する機能で、常時各種の計測値と信号値を総合判断して、適正な指令が発せられるよう待機する。この機能はコンピューターコントロールの基本的な役割を演ずるもので、他の各種制御機能はすべてコイルトラッキング機能のもとに置かれている。

## 5.3 セットアップおよび適応修正機能

コイルデータ、ロールデータなどの外部入力があると、計算機はメモリーにあらかじめたたくえられている

各種の基準値、圧延機データなどの定数を呼び出して設定計算を始める。トラッキング制御機能から指示があると、計算された各スタンドの圧下量、圧延速度、張力、ガイド幅などの設定値は APC 装置を通して圧延機側に出力されることになる。この一連の作業をセットアップ制御といっている。

一般にセットアップ制御は、数式モデルを用いた絶対値計算方式と、至近の類似スケジュールを基本にその変化分のみを計算して修正するパターン方式とに基本的には分けられる。絶対値計算方式は圧延理論の進歩により理論式の信頼性と合理性が認められ、最近のセットアップ計算にはほとんどこの方式が用いられているが、実際の数式モデルは圧延理論式を現場の操業データで修正して用いるのが普通である。とくに絶対値計算方式では詳細な数式モデルを多く用いているため、誤差要因を分解して適切な処置を施すことが可能であり、本機能の効果を一層高めることができる。後者の方式では、対象となる圧延機の操業データを数多く収集し統計的手法によって処理してメモリーに記憶しておき、圧延作業時に類似スケジュールを選択してセットアップを行なう。圧延スケジュールデータの集積を重ねて行けば設定の精度は向上してくることになる。

さらに、セットアップ以後の計算機機能として設定値の適応修正機能があり、圧延中のロール径、摩擦係数の変化、初期設定値の誤差などに起因する圧延スケジュールのずれを順次修正してゆく機能である。これは圧延開始後、定期的に計算値と実際作業のデータを比較し、異常値が検出されればただちに実績データを用いて数式モデルの一部修正を行なうものである。

## 5.4 マイナー制御

AGC、張力制御、速度効果補償などのマイナーループに対しても積極的にコンピューターコントロールとの直結が図られており、従来のアナログ調節器に見られた画一的な制御機能をデジタル計算機で制御することにより複雑な変動を十分吸収できるとともに、ハードウェアの減少による設備費の低減も図られている。とくに板厚偏差が大きすぎたり、外乱が多くて AGC が制御しえない範囲に対しては、コンピューターがシステム全体から見てより適切にゲインや各種の設定値をコイル1本ごとに適宜出力することにより、AGC の効果が拡大できオフゲージの減少が図られる。

## 5.5 シーケンス制御

最近の圧延機に採用されているコイルハンドリング、自動通板、自動減速機構は複雑化の一途をたどっているがシーケンス制御機構は通板、加減速、戻板時の圧延

表7 わが国におけるタンデムコールド圧延機計算機制御設備一覧表

会社名 圧延機名称	計算機名	周辺機器	システム機能	備考
新日鉄 君津 No 3	HIDIC-100 コア 16K ドラム 16K	テープリーター テープパンチャー タイプライター ほか	自動プリセット制御 コイルトラッキング, AGC演算 ほか 自動減速, ラップチェック ほか	S43年3月稼動 (将来大型計算機 導入予定)
日本鋼管 福山 No 1	MELCOM-335 コア 8K ドラム 64K	カードリーダー テープリーター テープパンチャー タイプライター ほか	自動プリセット制御 データロギング ほか	S43年5月稼動
新日鉄 名古屋 No 2	TOSBAC-7000/40 コア 16K ドラム 131K	タイプライター テープリーター ほか	自動プリセット制御 コイルトラッキング 溶接点尾端自動減速 データロギング ほか	システム S44年3月稼動 S45年3月増強
新日鉄 戸畑 No 4	TOSBAC-7000/20 ドラム 262K TOSBAC-200 (アナログ計算機)	テープリーター カードリーダー テープパンチャー ラインプリンター ほか	自動プリセット制御, 圧延中 の設定修正 コイルトラッキング AGCリール位置停止制御 データロギング ほか	システム S45年4月稼動
新日鉄 名古屋 No 3	MELCOM 350-30 コア 32K ドラム 256K MELCOM 350-5 コア 16K	カードリーダー テープリーター テープパンチャー タイプライター ほか	データロギング 自動減速定位停止 自動プリセット制御 ダイナミックコントロール ほか	S46年2月稼動
川崎製鉄 水島	HITAC-7250 コア 16K ドラム 256K	テープリーター テープパンチャー タイプライター ほか	自動プリセット制御 コイルトラッキング データロギング ほか	S46年3月稼動
日本鋼管 福山 No 2	MELCOM-350/50 コア 32K ドラム 256K MELCOM 350/5 コア 16K	カードリーダー カードパンチャー テープリーター テープパンチャー タイプライター CRTデスクプレイ ほか	自動プリセット制御 コイルトラッキング データロギング ほか	S46年6月稼動
住友金属 鹿島	TOSBAC-7000/20 コア 16K ドラム 131K	カードリーダー カードパンチャー テープリーター テープパンチャー タイプライター ほか	自動プリセット制御 コイルトラッキング 通板加減速, 尻抜時の圧下制 御 データロギング ほか	S46年8月稼動
神戸製鋼 加古川	TOSBAC-7000 コア 16K	カードリーダー テープリーター カードパンチャー タイプライター ほか	データロギング	S47年3月稼動

状態の変化に応じて各機構の効果的運用を図る制御である。コンピューターにシーケンス監視機構をもたせ、確認された適正時点ごとに一連の所定シーケンス信号を出力し、リレー盤を通じて各種端末器を操作してその動作の完了確認を行なつてゆくものである。

#### 5.6 管理資料の作成, その他

圧延情報のロギングとその処理, 各種作業品質管理用日誌, 月報類帳票作成を行なう機構である。本機能の活用により品質レベルおよび圧延状況を厳密に監視でき省

力化が可能となつている。

そのほか, 上位計算機からのコイルデータ受信送信などの外部連絡業務, トラッキング機能に直結したデータのCRT表示業務, 関連前後工程とくに密接なつながりのある酸洗工程との連絡業務などが含まれている。

以上, 計算機の機能の概要を述べたが, 計算機制御の圧延技術面での目的は, ストリップを所定の厚みまで圧延する厚み制御と製品の平坦度を得るための形状制御の2項目に分けられる。

形状制御については、後述するように、検出器の開発のおくれなど問題点がいまだにいろいろ残っている。厚み制御の機能でとくに問題になるのは通板加減速中の板厚制御であり、前述したようにこの分野における理論解析は日を追って進歩しており、一部で実施例も報告されているが、まだ一般化されるにいたっていない。

### 5.7 計算機制御の現状と問題点

最近の新設圧延機に計算機を導入することは常識となっており大型中央計算機の工程管理と圧延機のプロセス制御を直結した大システム計算機制御も出現し、多彩な業務を可能にしている。

プロセス制御は自動制御機能をおもな目的として設計され、国内における冷間圧延機への計算機制御の導入実績を示すと表7のようになっていいる。

現状でのタンデム圧延機の計算機制御がかかえる問題点は次のような点であろう。

(1) 形状制御分野におけるコンピューター化は信頼すべき形状検出器が開発されておらず人間の判断にたよっている。

(2) 圧延速度の高速化にともない、通板および加減速時のオフゲージ量が増加し問題となるが、加減速時の現象の数式モデル化は現状ではまだ開発途上にある。

(3) 既設の圧延機にコンピューターを付加する場合経費が高く効果が薄い。

(4) 入出力機器、通信装置、端末機器に高い信頼性がもてず、価格が高い。

(5) オンライン制御専用のハードウェア、ソフトウェアの開発が遅れており、汎用システムを流用せざるを得ない場合が多い。

(6) コンピューター故障などの不慮の事故によるコンピューターシステム停止のバックアップには、多額の費用をかけるか、あるいは相応の人員配置が必要である。

## 6. 形状制御の発展

近年の AGC、計算機制御などのめざましい技術進歩により、生産性の向上、製品精度の向上が達成されとくに被圧延材の圧延方向の製品精度は著しく向上してきた。同時に、最近では圧延材の平坦度が重要な品質要求となってきたがこの平坦度を保つためにはオペレーターの目視観察と経験に裏づけられた勘とにより形状の良否を判断し、手動でロールベンディング装置やロールクーラント量調整、圧下量操作などにより被圧延材の形状制御を行なっているのが現状で、オペレーターの熟練にたよるところが大きく、圧延機の自動化を推進するという点で最も遅れている分野であつた。そこで 1960 年頃よりこの形状の定量的把握を行なうための形状検出器の開発が活発に進められ、さらにこの形状検出器とロールクーラント制御、ロールベンディング装置とを組み合わせることにより、形状制御の自動化を達成しようとする努力がはられ、各種の方案が考え出されており、そのなかにはすでに実用に供されているものもある。

### 6.1 形状測定の方法

形状不良には、耳伸び、中伸び、複合伸びなどがあり、これらは基本的には圧延方向に対する伸びが板幅方向に対して不均一であるために生ずるものであり、板幅方向の伸び分布と形状が対応している。形状の測定方式は上記の伸びをどういう形でとらえるかにより各種の方式に分かれるが、基本的には接触型と非接触型があり前

表 8 各種形状検出器の比較

	測定対象	検出方法	検出器	応用例
接触式	張力分布	2分割ローラにより、張力分布をその重心点の移動により測定する <sup>16)</sup>	荷重計	川鉄、水島 タンデムミル
		多分割ローラに作用する力により張力分布を測定する <sup>17)</sup>	荷重計	東洋鋼鉄、下松 DRミル
	伸び分布	接触ローラの回転数で長さの差を求める <sup>21)</sup>	回転計	
非接触式	板のうねり	板にスリット光源を投射し、他方よりテレビカメラでひずみを測定する <sup>20)</sup>	ITVカメラ	新日鉄、名古屋 No 3 タンデムミル
		板のうねりを磁氣的に測定する	磁気トランスデューサ	
	張力分布	板内部の応力を磁氣的に測定する <sup>18)19)</sup>	磁気トランスデューサ	British Steel Corp Orb. レバースミル
		空気圧により、変位分布から張力分布を求める <sup>22)</sup>	差動トランス	

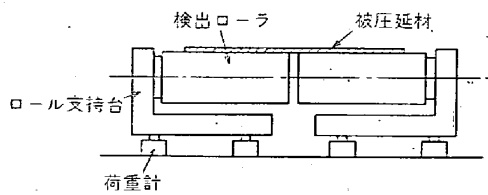


図10 2分割型形状検出器<sup>16)</sup>

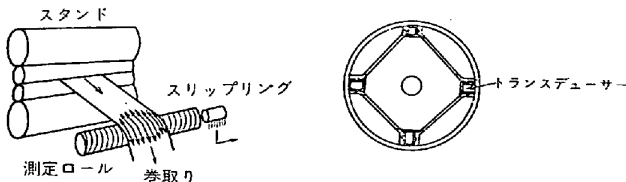


図11 ストレスメータ (Stressometer)<sup>17)</sup>

者においてはすべてロールを使用している。現在考案されている各種方式を列挙すると表8のようになっている。

上記の各方式はそれぞれの特徴を備えているものの一部問題点も残っており、とくに接触型においては分割ロールを使つており、このためにぶりき材などの厳しい品質を要求される被圧延材表面への疵付き性が最も問題となる。分割ロールによる形状検出器は図10に示す2分割型と図11に示す多分割型とに代表されている。この2分割ローラ方式<sup>16)</sup>は左右のローラに加わる力の大小で被圧延材の張力分布を求め、片のびを検出し、1個のローラに作用する張力の重心点の変位により、耳伸び、中伸びを検出するものである。この方式によると設置が容易であるが、被圧延材のセンタリングを完全にしなければならぬこと、張力が大きい場合、被圧延材中央に疵をつけるおそれがあるなどの問題が残っている。

多分割型ではロールは幅方向に20~30個に分割されており、一例<sup>17)</sup>として Stressometer (図11参照)では

50mm幅に分割されている。この測定ロールの内周4個所にプレスダクター型変換器が埋込んであり、ロール1回転当たり4つのパルスが発生し変換器に作用する圧力が電流値に変換されて取り出され、板幅方向の張力分布を検出し形状測定を行なっている。測定ロールは通常のデフレクターロールは替えて取り付けられる。この方式は装置自体が複雑である上は出力の取り出しにスリップリングを使用しており、さらに被圧延材への疵付き性にも問題が残っている。

磁歪現象を利用するもの<sup>18)19)</sup>は、被圧延材に作用している張力により板の透磁率が変化することを利用したものである。J & L社の装置は被圧延材に磁場をつくる9個の電磁素子を設け、各電磁素子の透磁率の変化により被圧延材の幅方向の張力分布を検出し、形状を測定するものである。BISRA方式も基本的原理はこれと同じである(図12)。

光学的方法<sup>20)</sup>としては図13に示すように、圧延中の被圧延材の上に写つた棒状光源の虚像が、被圧延材の形状の変化に伴い曲線状に変化することを利用するもので、被圧延材の両端部と中央部の3点での形状の変化量を電位レベルの差として検出し、その出力を比較演算し

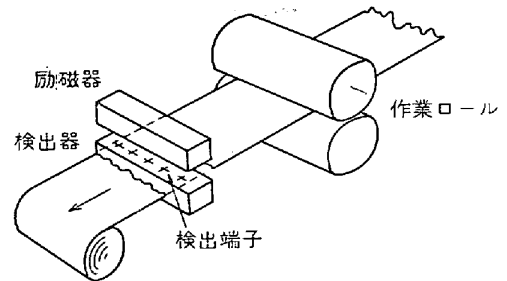


図12 BISRA型磁気形状計の配置<sup>19)</sup>

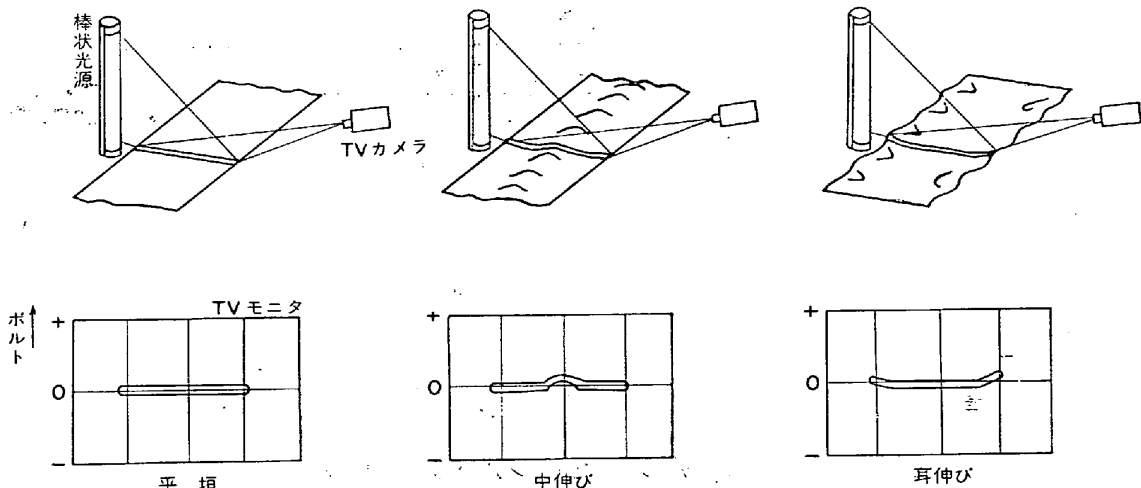


図13. 光学式形状検出器<sup>20)</sup>



て、耳伸び、中伸びなどを判別するようになってい  
 る。これはシェープメータと呼ばれており、非接触型の利  
 点を持つているが、被圧延材に作用する張力が大きい場  
 合には形状の変化がめいりように現われないう問題  
 が残つている。各種形状検出器の比較を表8に示す。

6.2 ロールベンディング

冷間圧延において形状の良好な鋼板を得るためには材  
 料の延伸が幅方向に均一であることが必要で、そのため  
 には幅方向の厚み分布が重要となつてくる。この板幅方  
 向の厚み制御の方法として、ロールネック部に油圧シリ  
 ンダーによりベンディング力を作用させて、これによる  
 ロールの曲がりクラウン効果として利用するいわゆる  
 ロールベンディングによる方法が理論的に研究され、近  
 年建設される冷間圧延機のほとんどにこのロールベン  
 ディング装置が設置され、形状修正におよぼす効果が実証  
 されている。

6.2.1 ロールベンディング方式<sup>23)</sup>

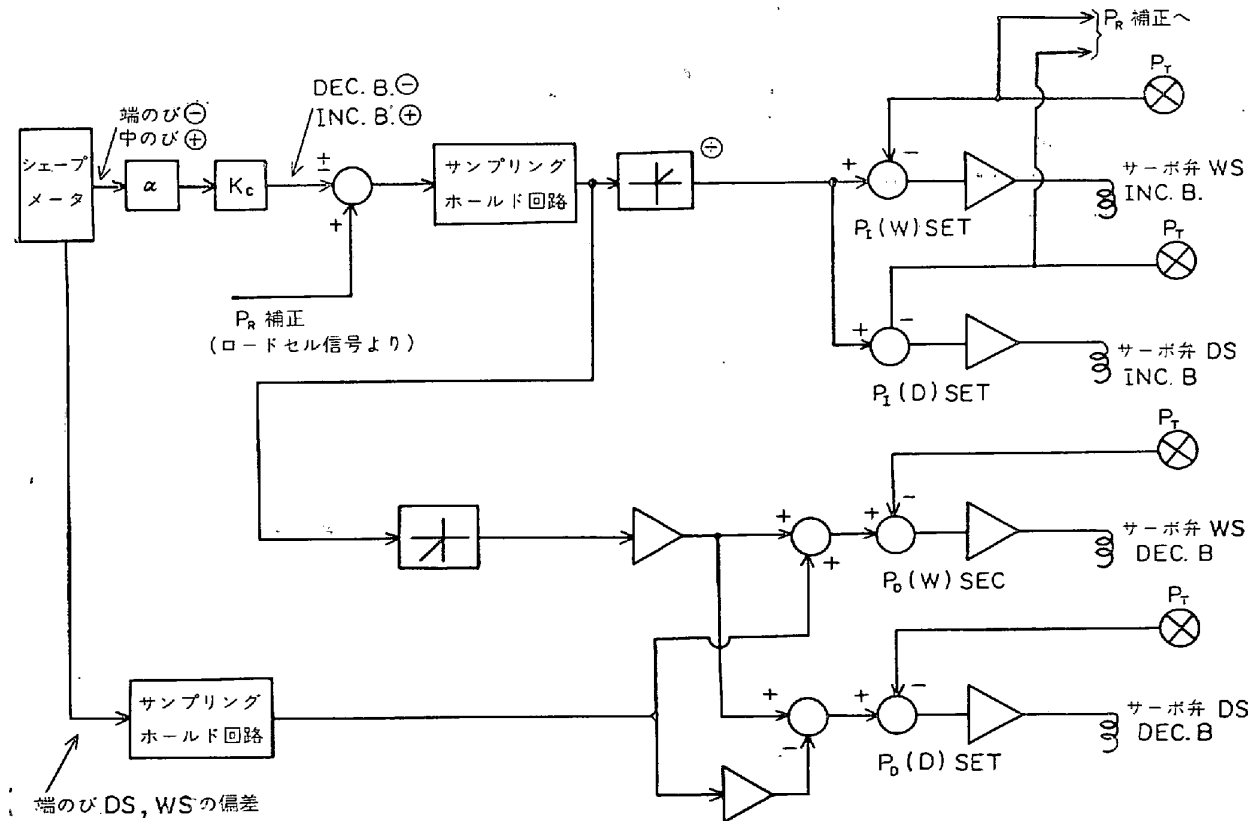
現在までに種々考案されているロールベンディング方  
 式を大別すると、作業ロールベンディングと補強ロール  
 ベンディングに分けられる。さらに作業ロールベンディ  
 ングには、作業ロールショック間にベンディング力を加

えるインクリースベンディングと、作業ロール補強ロー  
 ル、ショック間にベンディング力を加えるディクリース  
 ベンディングとがある。また、補強ロールベンディング  
 は直接補強ロールショック間にベンディング力を加える  
 ゲートタイプと、スタンド間にビームを渡してこれと補  
 強ロールショック間にベンディング力を加えるビームタ  
 イプに分けられる。

種々の実験結果より、一般に〔ロール胴長/作業ロー  
 ル径〕が3以上の場合<sup>24)25)</sup>は補強ロールベンディング方  
 式が、それ以下の場合は、作業ロールベンディング方式  
 が効果があるといわれているが、鉄鋼の冷間圧延機にお  
 いては、作業ロールベンディングが主流を占めている。

6.2.2 自動形状制御

これまでロールベンディングは前にも述べたように形  
 状の目視観察にもとづいて手動により圧力設定をしてい  
 したが、最近では形状検出器の開発に伴い、これとの組合  
 せにより圧力変換器を介してフィードバックループを形  
 成させ、自動化が実用化されるにいたつた。また、ベン  
 ディング圧力の設定精度を上げるため、サーボ弁も使用  
 されているが、この場合応答性は問題ではなく、ベン  
 ディング力と圧延圧下力の相互作用を考慮した制御系を設



α: 張力による手動係数    K<sub>c</sub>: ゲイン    P<sub>r</sub>: ベンディング圧力変換器

図14 シェープ制御 (WRB による) のブロック図<sup>24)</sup>

表 9 わが国の DR 圧延機設備一覧表

会社, 工場名	建設年	機械設備	スタンド数	圧延機サイズ (in.)	主電動機 (kW)	圧延速度 (m/min)
新日鉄, 名古屋	1965	日立	2	21 & 53×48	3400	DR 760 PASS 1520
東洋鋼板, 下松	1967	芝共	2	21 & 53×48	3800	600
新日鉄, 戸畑	1968	I H I	2	23 & 56×48	6000	DR 1200 PASS 2100
日本鋼管, 福山	1969	I H I	2	24 & 56×56	6300	1350
川崎製鉄, 千葉	1971	日立	3	23 & 54×49	10000	DR 1500 PASS 1220
東洋鋼板, 下松	1972	I H I	3	23 & 56×56	13000	1500

計しなければならない。作業ロールベンディングの場合の形状制御系の一例<sup>35)</sup>を図 14 に示す。

## 7. 製品板厚の薄物化

1961 年ごろからアルミニウム、プラスチック材料の容器部門への進出に対抗するためアメリカにおいて、ダブルレデュースぶりきの生産が始められ、ビール缶、ソフトドリンク缶の胴材は 0.17 mm 以下の薄ぶりに変わり始めた。アメリカ以外の国ではぶりきの競合材料の進出が遅れたため薄ぶりきの生産は少なかつたが徐々に需要が増し、日本でも 1970 年から本格的に増加し始めている。また、ティンフリー・スチール (T. F. S.) の呼称で使用されている電解化学処理鋼板の製造技術の完成に伴い、ぶりきの場合と同様に、厚み 0.17 mm 以下のダブル・レデュース T. F. S. が近年急増しつつある。

ダブル・レデュース品は一般品の製造法の調質圧延 (0.5~4.0% 圧下率) の代りに 20~50% の冷間圧延を行ない<sup>29)</sup>、薄い板厚で要求される機械的性質と強度を出すものである。

### 7.1 ダブル・レデュース圧延設備

ダブル・レデュース品は焼鈍後調質圧延される代りに 20~50% の冷間圧延を受けるため、ダブルレデュース (DR) 圧延機は調質圧延機と冷間圧延機としての両機能を要求される。すなわち正確な板厚、均一な光沢表面と良好な形状がダブル・レデュースではとくに要求される。表 9 に日本の DR 圧延機一覧表を示してあるが、そのほとんどは 2 または 3 スタンド 4 段圧延機である。2 スタンドは調質圧延機との、3 スタンドは冷間圧延機との兼用圧延機が多い。調質圧延機との兼用のものは圧延

機馬力の点から調質圧延で最高速度を出し、DR 圧延では幾分速度を落すのが普通で、調質圧延では 1500~2100 m/min, DR では 1000~1500 m/min が多い。

設備的には前述の 5 スタンドタンデム圧延機と大差なく、2 スタンド 4 段調質圧延機に冷間圧延作業に必要な圧延潤滑油系統の設備を付加した設備である。油圧圧下、SCR、計算機制御、入出側の自動化など冷間圧延機とまったく同じ変遷をたどっている。

### 7.2 DR (Double Reducing) 作業

冷間圧延と調質圧延の両方の作業を満足するために圧延機まわりを清浄にすることを要求され、圧延油もパーム油などの凝固点の高いものを使うことはまれである。圧延油の給油方法は通常冷間圧延と同じく直接給油方式と循環給油方式があり、各社それぞれの特色を生かして DR 圧延している。調質圧延との切替作業を行なう場合は、直接給油方式が多く、DR 専用の場合は循環給油方式が多い。いずれの方法でも圧延油が均一に被圧延材に付着し、モットリングを発生させないこと、および付着した油がメッキ・ラインのアルカリ・クリーニングで脱脂されなければならない。直接給油方式では油は清浄であるが給油量が少ないため、油の攪拌、ノズルの位置、クーラントのブロックオフなどに注意をはらう必要がある。循環給油方式では多量の油を噴き付けるためこの心配はないが、油を清浄に保つための考慮がなされており、フラット・ベッド・フィルター (Hoffman vacuum フィルター<sup>26)27)</sup> や Hydromation フィルター<sup>28)</sup> を使って強制的に油を清浄にする方法が多く使われている。

## 8. 結 言

以上近年のタンデムコールド圧延機の操業について、わが国での発展を中心として述べてきたが、まだ十分に書きつくせなかつた面も多々あるかと思う。また一部私見を混じえたところもあり、各位の忌憚のないご意見を聞かせていただければ幸甚と考えるしだいである。

## 文 献

- 1) 鉄鋼統計委員会: 鉄鋼統計要覧, (1972), p. 209
- 2) 加藤, 梶原, 秦, 藤野: 日立評論, 52 (1970) 8, p. 744
- 3) 森本, 才木, 市田, 石橋, 村上: 製鉄研究, (1972) 276, p. 10196
- 4) 一丸, 比企野: 日本鋼管技報, (1971) 56, p. 273
- 5) T. OKAMOTO, Y. KAWASOKO, T. ARIMURA, and S. EUJII: Iron Steel Eng., 49 (1972) 5, p. 79
- 6) 梶原, 福井: 日立評論, 47 (1965) 9, p. 1593
- 7) 野村: 石川島播磨技報, 別冊第2号 (1969), p. 29
- 8) 橋本, 高津: 三菱重工技報, 9 (1972) 3, p. 406
- 9) 神馬, 岡見, 和田: 日本鋼管技報, (1971) 56, p. 19
- 10) A. E. CICHELLI: Tsibology in Iron and Steel Works Conference, (1969) London, England
- 11) 堀井: NSK Bearing Journal, (1969) 624, p. 31
- 12) 斎藤, 水野, 松香, 桜井: 日立評論, 50 (1968) 8, p. 751
- 13) 鈴木: 日本機械学会誌, 64 (1961) 504, p. 118
- 14) 水野, 松香, 桜井, 木谷: 日立評論, 53 (1971) 8, p. 746
- 15) 野坂: 鉄鋼業のコンピュータコントロール, (1970), p. 237 [産業図書]
- 16) 梶原, 藤野, 杉山: 日立評論, 53 (1971) 9, p. 842
- 17) M. HENZE and O. G. SIVILOTTI: Proc. ICSTIS, 11 (1971), p. 687
- 18) J. R. DAHM: ISA Conference on Instrumentation in the I & S Industry 1970-3 Pittsburgh, U. S. A.
- 19) J. G. WISTREICH: Proc. ICSTIS, 11 (1971), p. 674
- 20) T. SANTO, et al.: Proc. ICSTIS, 11 (1971), p. 698
- 21) W. K. J. PEARSON: J. Inst. Metals, 93 (1964-65), p. 169
- 22) 水野, 安藤, 武田: 住友軽金属技報, 13 (1972) 3, p. 131
- 23) 塩崎: 石川島播磨技報, 別冊第2号 (1969), p. 44
- 24) 山沢, 石川島播磨技報, 別冊第2号 (1969), p. 37
- 25) 塩崎, 塑性と加工, 9 (1968) 88, p. 315
- 26) Steel, June (1968), p. 78
- 27) Iron Steel Eng., May (1968), p. 149
- 28) J. P. WETTACH: Iron Steel Eng., August (1966)
- 29) 東洋鋼板 K. K.: ぶりきとティンフリースチール, (1970), p. 70, [アグネ]