

技術資料

UDC 621.771.237.016.3

冷間ストリップ圧延機の進歩\*

梶原利幸\*\*・藤野伸弘\*\*

Development of Cold Strip Mill

Toshiyuki KAJIWARA and Nobuhiro FUJINO

1. ま え が き

「鉄は熱いうちに打て」という諺がある。これは一面真理であるが、熱間圧延よりもさらに薄く、表面状態をより美しくかつ機械的性質を改善するためには、どうしても冷間圧延が必要である。

近年、わが国鉄鋼業の躍進はめざましく、世界の注目を浴びているが、冷間圧延の分野においても、高度の自動化や、油圧圧下装置の大幅な採用が行なわれ、これらを駆使した世界最高速冷間タンデム圧延機<sup>1)</sup> (圧延速度 2 500m/min)、世界初のセンチマ冷間タンデム圧延機<sup>2)</sup>、および世界初の連続式冷間タンデム圧延機の完成<sup>3)</sup> など世界の冷間圧延業界をリードする技術革新を行なってきた。以下これらの内容についてその概要を説明する。

2. 冷間タンデム圧延機

2.1 最新の冷間タンデム圧延機の概要

表 1 に国内および外国に設置された特色ある新鋭設備の主仕様を示す。これをみると最新の冷間タンデム圧延機には、自動化、油圧圧下装置の採用、高速化、コイルの大量化などが取り入れられていることがわかる。

2.2 最新の冷間タンデム圧延機に採用された新技術の概要

冷間タンデム圧延機は生産設備の最たるものであり、したがっていかに経済的に能率よく品質のよい製品を容易に出しうるかが問題である。

冷間タンデム圧延機に与えられた命題を項目ごとに分類すれば次のようになる。

- (1) 高能率圧延 (時間当り生産量の増加)
- (2) 高品質圧延 (製品板厚精度, 板形状の向上, 疵発生防止)
- (3) 自動化 (能率向上, 困難な作業の排除, 省力化)

図 1 に開発された新技術とその適用効果の位置づけを

示す。以下にこれらのうちおもなものについて説明する。

2.3 高速圧延

図 2 に年代と圧延速度の関係を示す。図では 1953 年に公称 2 100m/min の 5 スタンドタンデム圧延機が出

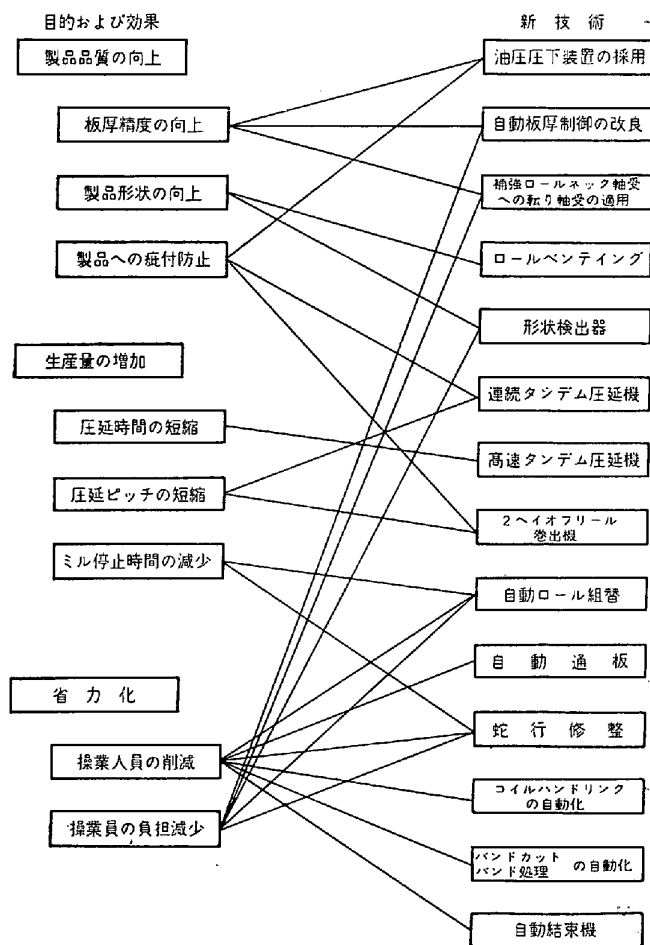


図 1 冷間タンデム圧延機の新技術

\* 昭和48年7月6日受付

\*\* (株)日立製作所 日立工場

表 1 最新のコールドタンデムミル

製 鉄 所 名		新日本製鉄 君津製鉄所 <sup>(1)</sup>	Rassel Stein AG <sup>(4)</sup>	日本鋼管 福山製鉄所 <sup>(2)</sup>
設 備 名		1420 mm 6 スタンド コールドタンデムミル	1450 mm 6 スタンド コールドタンデムミル	1425 mm 5 スタンド 連続コールドタンデム
建 設 年		1971年	1971年	1971年
機 械 品 メ ー カ		日立製作所	Siemag	石川島播磨重工業
電 機 品 メ ー カ		日立製作所 三菱電機		三菱電機
ロ ー ル 寸 法 (mm)		585φ & 1420φ × 1420	610φ & 1450φ × 1450	600φ & 1420φ × 1425
素 材 板 厚 (mm)		4.5~2.0	1.0~0.15	4.5~1.6
板 品 板 (mm)		1.2~0.2	1300	1.6~0.15
板 幅 (mm)		500~1280		610~1270
コ イ ル 最 大 径 (mm)		2775φ (タイトコイル)		2340φ (タイトコイル)
コ イ ル 重 量 (t)		45		32
圧 延 速 度 m/min		2500	2420	1830
圧 下 方 式				
主 機	ペイオフリール kW/rpm	2台 2×375 200/780		
電 動 機	No 1 スタンド	2×2×950 175/580		2×1650 105×315
	No 2 スタンド	2×2×1320 225/650		2×2000 160×410
	No 3 スタンド	2×2×1320 250/650		2×2000 220×565
	No 4 スタンド	2×2×1320 250/650		2×2000 225×565
	No 5 スタンド	2×3×950 240/600		2×2×1100 250×750
	No 6 スタンド	2×3×950 240/600		
	テンションリール	2×3×450 100/550		2台 3×450 245/1225
コイルハンドリングの 自動化		バンドカット, バンド処理 コイル移送巻出機への挿入 コイル先端口出 コイル結束		
巻 出 機		2ペイ オフリール(シングル マンドレル)		
ミル 圧 下 方 式		油圧圧下 ネジ式	油圧圧下	油圧圧下 (No 1 Std のみ)
パスライン調整 補強ロール軸受		No 1, No 2 転り軸受 No 3~No 6 モーゴイル スティッカガイド スタンド間ガイド ガイド操作の自動化	モーゴイル軸受	モーゴイル軸受
自 動 通 板				連続ミル
ロール組替 作業ロール 補強ロール		サイドシフト台車式 スレッド式		スレッド式
計 算 機 制 御		APC 情報処理 AGC 自動減速など		APC データ収集 自動運転
そのほかの特長		1. 世界最高速ミル 2. 2ペイオフリール	1. 世界最高速ミル	1. 世界初の連続ミル

現しているが、機械的および電気的問題もさることながらロール冷却上の問題で実際にはこの速度を実現できず、1961年の6スタンドのタンデム圧延機<sup>(1)</sup>で初めて実現された。このように高速圧延で問題となるのは、機械的および制御機能の高速性のほかに、ロール冷却とストリップ潤滑の性能が大きな鍵となる。

### 2.3.1 ロール冷却

ロール冷却剤の機能と、圧延により発生する熱の冷却機能からなる。すなわち、潤滑性をよくし発熱を押さえ冷却能力を大きくするほど高速圧延が可能となる。ロー

ール冷却剤方式は大別して2通りあり、相反する利害得失を有する。すなわち、直接式は潤滑油と冷却水を別々にストリップおよびロールに供給するので、それぞれの機能は向上させるのが立地条件によつては経済的に難点を生じる場合がある。循環式は潤滑油を冷却水に混合して使用するので冷却水の温度を高める必要があり冷却性に劣るが、くり返し使用できるので油の消費が少なく経済的である。従来、高速圧延機は直接式というのが常識的であつたが、新日本製鉄君津製鉄所の6スタンドのタンデム圧延機がこの経済的な循環方式で世界最高の2500

(特長あるものをピックアップ)

神戸製鋼所加古川製鉄所 <sup>5)</sup> 1 680 mm 5 スタンド コールドタンデムミル 1972年 石川島播磨重工業 東京芝浦電気 585φ & 1 520φ × 1 730 6・0~2・0 3・2~0・2 600~1 600 2 450φ (タイトコイル) 50 1 680	住友金属工業鹿島製鉄所 <sup>6)</sup> 1 730 mm 5 スタンド コールドタンデムミル 1971年 三菱重工業 東京芝浦電気 585φ & 1 524φ × 1 730 6・5~1・8 3・2~0・25 610~1 625 2 140φ (タイトコイル) 30 1 812	Inland Steel <sup>7)</sup> 2 032 mm 5 スタンド コールドタンデムミル 1970年 Wean United 585φ & 1 524φ × 2 032 6・35~1・5 3・18~0・25 610~1 956 2 286φ (タイトコイル) 45・3 1 600	日新製鋼 周南製鋼所 <sup>8)</sup> センジマコールド タンデムミル 1970年 日立製作所 日立製作所 Z R 22N, Z R 21-52 6・5~0・8 mm 4・0~0・3 mm 600~1 280 mm 2 200φ (タイトコイル) 22 600
2×1 900      150/450 2×2×1 350    225/585 2×2×1 350    225/585 2×2×1 350    225/585 2×2×1 350    200/600	2×400      250/1 200 2×2 250      150/450 2×2×1 500    200/580 2×2×1 500    200/580 2×2×1 500    200/580 2×2×1 500    200/580 2×2×1 500    200/580	2×400      250/1 100 2×4 500      125/375 2×6 000      200/500 2×6 000      200/500 2×6 000      200/500 2×6 000      200/500	2台 250      250/1 050 2×700      300/900 2×1 200      250/680 2×1 200      250/680 2×1 200      250/680
バンドカット, バンド処理 高さ, 幅調芯 コイル先端口出	バンドカット, バンド処理 コイル移送, 巻出機への挿 入, コイル結果	バンドカット, バンド処理 コイル移送, 巻出機への挿 入, コイル口出 コイル結果	コイル結果
ダブルコーン式	ダブルコーン式	ダブルコーン式	シングルマンドレル
油圧圧下 ウェッジ式 全スタンド転り軸受  スティッカ  ガイド操作の自動化	油圧圧下  メスタオイルフィルム軸受  No 1.2 Std に蛇行修正有	電動圧下  モーゴイル軸受  マグネットコンベヤー (スタンド間) ガイド操作の自動化	油圧圧下    スタンド間ガイド
サイドシフト台車 式スレッド式	サイドシフト台車式 スレッド式	ターンテーブル式 スレッド式	台車式 ポーターバー
	ミルセットアップデータ収集 A S C	A P C, データ収集	
1. 日本で初の全スタンド 転り軸受のミル 2. 転り軸受使用のタンデ ムミルでは世界最高速			1. 世界初かつ唯一センジ マタンデムミル 2. 世界初の連続ミル

m/min の圧延に成功した<sup>1)</sup>ことは注目すべき業績である。この事実により、ロール冷却剤の工夫、パススケジュールの修正などで、今後 2 500m/min 以上の圧延機の出現も予想される。

### 2.3.2 ロールネック軸受

作業ロールは交換頻度が高いため構造簡単な四列円錐コロ軸受が使用され、潤滑は従来グリース潤滑であつたが、グリースの場合高速での軸受昇温が大きなことと軸受の整備の簡便さをねらつて、高速用ではオイルミスト潤滑が採用される例が多い。オイルミスト潤滑も圧延速

度が 1 800m/min 程度以上になると、軸受自体の設計チェックの設計を十分配慮すべきで、この点に留意して 2 500m/min の世界最高速を実現できた。

このように軸受構造、チェック構造およびオイルミスト潤滑方式の改良により 2 500m/min 以上の高速圧延も夢ではないと思われる。

一方、補強ロールについては、油膜軸受を使う限り、2 500m/min の実績からみてこれ以上の圧延速度も可能であろうが、転り軸受では公称速度で現在タンデム圧延機で 1 680m/min<sup>5)</sup>、調質圧延機で 2 100m/min が

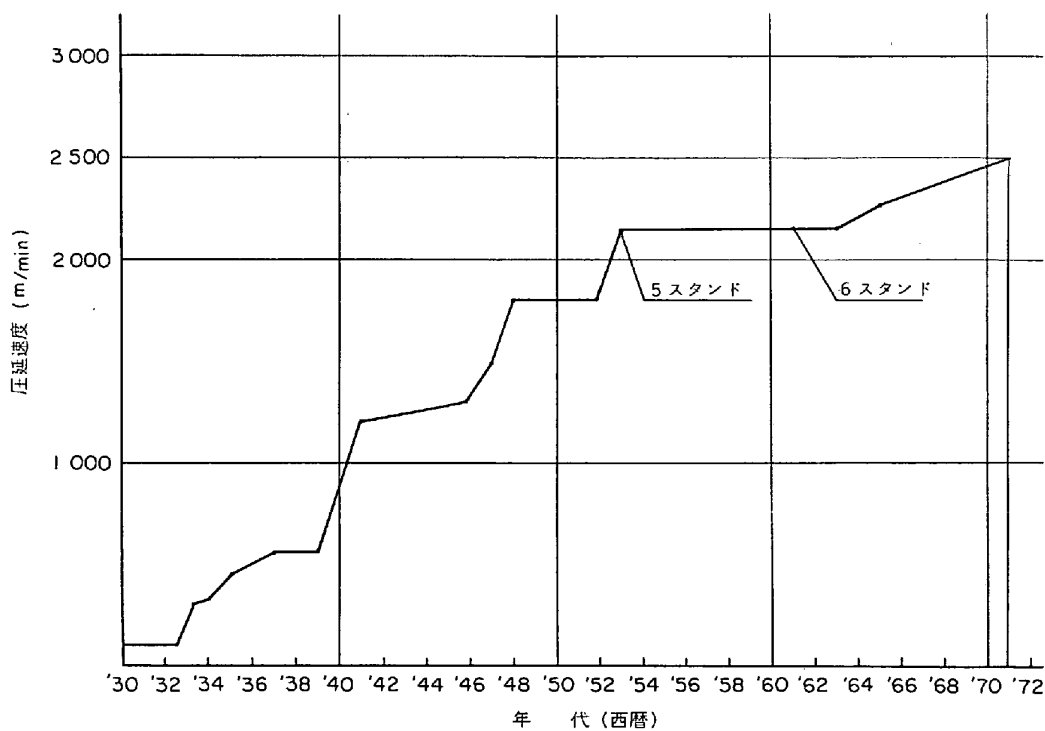


図 2 年代と圧延速度の関係

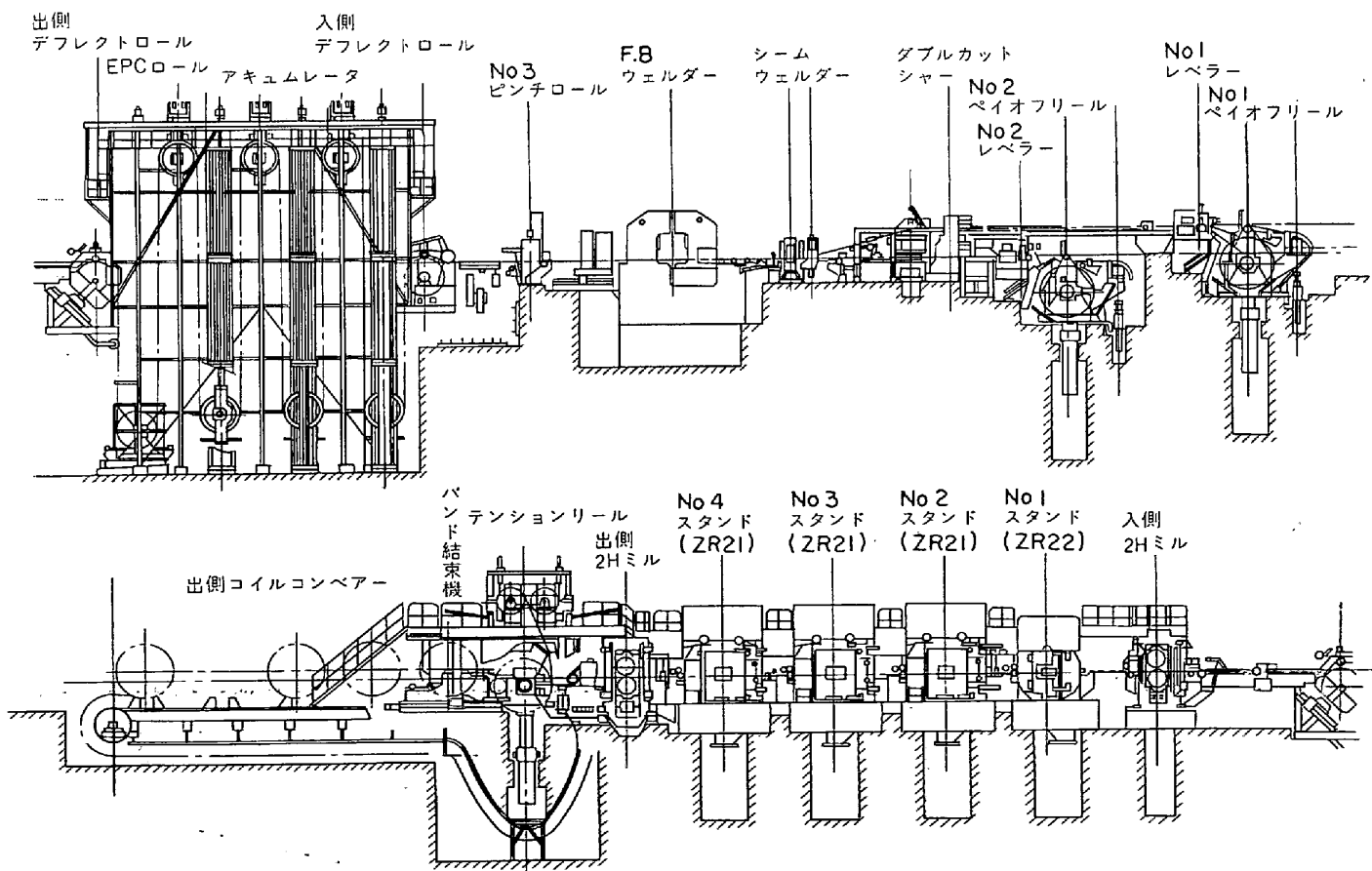


図 3 連続式センジマタンデムミル

実績の最高である。補強ロールネック軸受は、交換頻度が少なく、高荷重を受けるが、構造的に高速向の円筒コロ軸受を用いているので、作業ロールネック軸受の実績より考え、高速用補強ロール軸受に転がり軸受を採用できぬ根拠はない。唯大型化するという点のみにおいて実績を積み重ねることが、高速用への採用には必要であるが、この実現も後述する転がり軸受の種々の優位性から時間の問題とみられる。

### 2.3.3 高速スピンドルカップリング

高速圧延機ではギヤ式スピンドルカップリングが使用されるが、高速化とともにより長寿命化および振動に対する安定性が要求される。ギヤの寿命上歯面の耐力を上げることが必要とされるが、潤滑条件を常に良好に保持しておくことがより重要である。高速の場合は高速回転による遠心力に耐え、高シール性を保持できるブーツが必要で、度重なる改良の結果満足すべきものが開発された。つぎにロールとカップリング間の隙間が大きいと振動と要因となり、ロールネック軸受けの寿命、ギヤの寿命、圧延に悪影響を与えるが、これに対し隙間を小さくするとロール組替が困難となる。そのため、ロール組替時は隙間を大きく、圧延時は隙間の小さくなるウェッジ式が採用され効果をあげている。

## 2.4 連続式コールドタンデム圧延機

タンデム圧延上高度の技術を要する通板、尻抜をなくして連続的に圧延するいわゆる連続式タンデム圧延機は冷延業界の夢であったが、1969年に世界初のセンシマ冷間タンデム圧延機が日新製鋼南製鋼所で稼働に入った<sup>2)</sup>が、これはまた、世界初の連続タンデム圧延機である。ついで1971年に日本鋼管福山製鉄所で世界初の4重5スタンド連続式タンデム圧延機が稼働に入った<sup>3)</sup>。これらは日本の世界に誇りうる一大偉業である。

### 2.4.1 連続式センシマスタンデム圧延機

図3に連続式センシマタンデム圧延機の配置図を示す。センシマ圧延機は、作業ロール径が細いため自力噛み込みがむずかしく、タンデム化するには通板が最大のネックとなる。また、通板後、後方張力は作用するが、次スタンドに噛み込むまでは前方張力が作用せず、この間では圧延限界に達しロールとストリップ間で滑りを生ずるおそれがあり、常に前方、後方張力をかけておく必要がある。これらの問題点を解決する手段は連続化代外になく、センシマタンデム圧延機として必然的に連続圧延機となつた。

### 2.4.2 連続式4重タンデム圧延機

この場合普通鋼の圧延ゆえその目的は

- (1) 通板時間の減少による生産性向上
- (2) 通板時のロールの疵付防止
- (3) 歩留りの向上
- (4) 省力化

などで、連続化にあつての問題点とされていた板厚、板幅変化に対する圧延技術を確立されたことは、注目すべきことである。

連続タンデム圧延機は、今後の冷延圧延機の動向を示すものと思われるが、圧延品種、設備費と生産効率などの関係を解明し、最適設計を行なうべく検討を続ける必要があると考えられる。

## 2.5 油圧圧下装置

1968年、新日本製鉄君津製鉄所で2180mm幅5スタンド冷間タンデム圧延機に、タンデム圧延機として世界で初めて油圧圧下が採用<sup>9)</sup>されて以来、国内に設置された冷間タンデム圧延機は全スタンド油圧圧下、または、少なくとも最初の1スタンドは油圧圧下が採用されている<sup>1)5)6)3)10)</sup>。外国では、ヨーロッパにおいては比較的多いが、米国では実績少なく、この面でもわが国が世界を

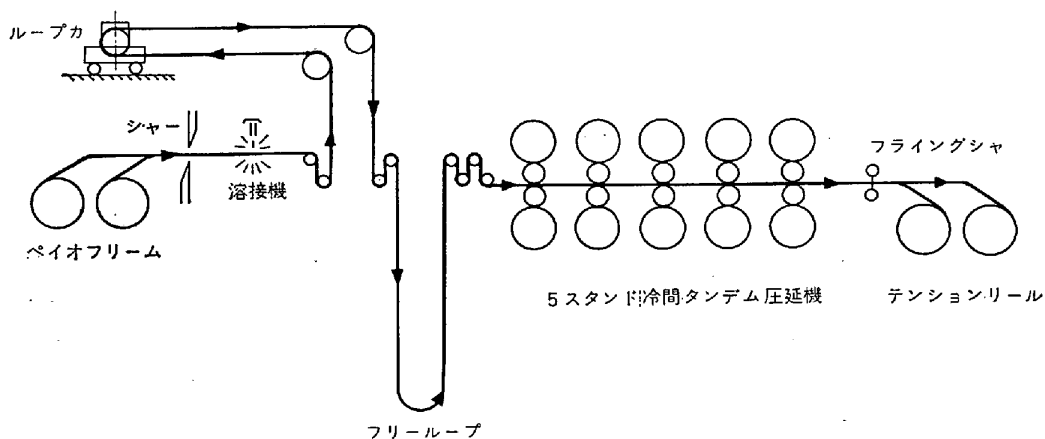


図4 完全連続式スタンド冷間タンデム圧延機

表 2 自動 化 の 目 的 と 内 容

区 分	内 容	生 産 能 率 向 上	品 質 向 上 お よ び 安 定 化	製 品 歩 留 向 上	操 業 人 員 の 低 減	操 業 負 担 減	危 険 な 作 業 の 排 除
コ イ ル ド リ ン グ	コイル移送 コイルバンド処理 ミル入側 コイルセンタリング コイル自動結束	△			○ ○ ○ ○	○ ○	△ ○
通 板	自動通板, 尻抜	○			○	○	○
加 減 速	自 動 減 速 自 動 停 止	○ ○		○		○ ○	
ロ ー ル 組 替	作業ロール組替の 機械化	○			○	○	○
品 質	自動板厚制御 自動形状制御	○	○ ○	○ ○		○ ○	
スケ ジュー ール 換 え	プリセット 圧下, 圧延速度 張 力 ガ イ ド 幅	○			○		

○印: 関係あり      △印: 少し関係あり

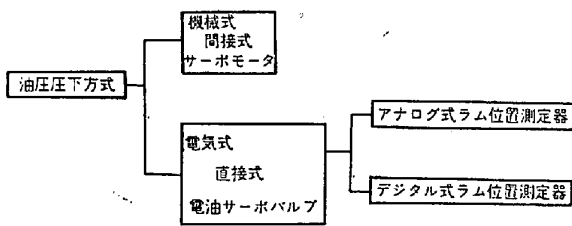


図 5 油圧圧下方式の分類

リードしている。

これの特長として

- (1) 圧下応答性が速い (電動圧下の5~10倍)
- (2) かみ込みなどの圧延事故時に過負荷が作用せず  
ロールの損傷が少ない。
- (3) バネ底部に油圧シリンダーをおけばよいので頭  
部にパスライン調整装置が取り付けられ、ロール径が変  
わつてもパスラインを一定にできる。
- (4) バネ常数可変制御が行なえる。

図5に現在行なわれている各方式の機能を説明する。

2.6 自動化と信頼性の向上

自動化は2.2に示したように、生産性向上、操業人員の低減、人の能力では困難な作業や危険な作業の排除を目的として行なわれる。

必要以上、または不確実なものを自動化すると逆に目的に反する結果になりかねない。今までの経験により実施可能と考えられる自動化の内容と目的を表2に示す。

自動通板の中に蛇行修正が含まれるが、これは、検出

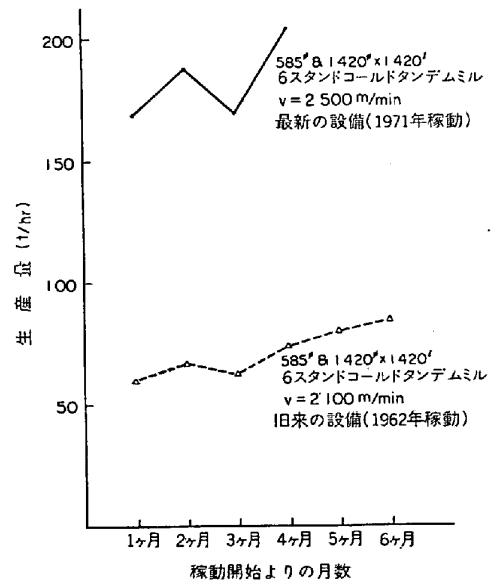


図 6 ミル稼働月数と生産量の関係

器が熱水のシャワーと振動を受けるので、この設計には慎重な配慮を必要とするが、実用性は確認されている<sup>13)</sup>。ただし、ノートリム材の圧延の場合、先端が非対称のためこれに対しては適用できず、反面、自動通板の方式、ガイドの改良などにより蛇行の頻度はきわめて少なくなり、蛇行修正の必要性はなくなつてきている<sup>11)</sup>。自動化のためのアクチュエータ、検出器などを多く使用するが、これらの適用を誤ると故障率が高くなり、ダウンタイムを増しかえつて生産能率を低下させるおそれがある。

これに対処するには

- (1) 検出器の数を必要最少限で済ませる工夫を行なう。
- (2) 検出器の取付に実情に合った配慮を払う。
- (3) 配管を含めた油圧機器の特性を正確に把握しておく。

などがあげられ、これらの考えに基づき納入された設備の稼働開始時からの生産量の推移を<sup>13)</sup>、旧来の設備<sup>14)</sup>と比較して図6に示すが、これにより新設備の立ち上りのきわめて良好なことが認められ、これは上記の対策結果初期トラブルもなく、安定した運転が行なわれていることをうかがわせる。

## 2.7 補強ロールネック軸受の転り軸受化

高速高荷重の冷間圧延機用補強ロールネック軸受けとして長い間油膜軸受が使われてきたが、次の欠点がある。

(1) 圧延速度の変化により油膜厚みに変化し、これは昇速、降速でヒステリシスがあり、また初期間隙油の粘度変化でも変化量が変わるので、圧下制御で完全に除去はできない。

(2) 低速時の油膜切れがあり、荷重を受けた状態での起動が困難。

(3) ロール、軸受スリーブ両方の偏芯が重ね合わさることもあり、偏芯が多い。

(4) 専用の給油装置が必要で、これの管理と設置スペースに多大の費用がかかる。

これらを解消すべく出現したのが転り軸受で、これは軸受製造技術の進歩と、簡便なオイルミスト潤滑の開発により可能となった。

この特長は、

(1) 圧延速度の変化によりロール軸芯は変化しない。

(2) 荷重下での起動、低速での回転もスムーズである。

(3) 内輪を焼嵌めしてロールと共研削すれば運転中のロールの偏芯を最小にできる。

(4) 潤滑は簡単なオイルミスト潤滑でよい。

などで、表1に示すごとく最近多く使用される傾向にあり、所期の成果をおさめている。この欠点は、前述のごとく、高速にはまだ実績の少ないことで現在圧延速度は圧下圧延機で1680m/min スキンパス圧延機で2100m/minが最高である。

最近、精度は良いが、高速性に実績の少ない転り軸受と高速性の油膜軸受をスタンドにより使い分けて良好な結果を得ている<sup>15)</sup>。少しぜいたくな方法であるが、今後、高精度、高速をねらう場合は有力な方法となろう。

## 2.8 計算機制御

冷間タンデム圧延機における計算機の利用例をあげると

### (1) 自動設定

圧延条件の変化に対して各種設定値を数式モデルにより計算して設定する。

### (2) ダイナミック AGC

通板時、加減速時の板厚補正

### (3) 情報処理

コイルトラッキング、ラップチェック、データロギング

### (4) その他

自動減速制御

パスライン指令

などがあり、作業の均一化、歩留りの向上、および省力化の面で威力を発揮しつつあり。今後の熟練した作業員の不足に対処して数多く採用されよう。

## 3. 可逆式冷間圧延設備

近年わが国に新設された可逆式冷間圧延設備は比較的少ないが、最近建設された数例についてその特長のみ以下に説明する。

### 3.1 シングルマンドレルペイオフリールの採用

新設備では酸洗ラインの巻き取りにテンションリールが使用されるので、タイト巻きコイルが供給され、この結果、従来のコイルボックスに代わってシングルマンドレルのペイオフリールが使用でき、

(1) コイルの挿入が容易でセンタリング機構が簡単

(2) 強力なバックテンションがかけられる

(3) コイル層間スリップ疵がつかぬ

などの利点がある。

### 3.2 コイル高さ調芯、幅調芯の採用

この結果、ペイオフリールへのコイル挿入が容易となった。

### 3.3 補強ロールネック軸受への転り軸受の適用

タンデム圧延機の項での述べたように、転り軸受は秀れた性能を有し、かつ可逆式圧延機では圧延速度も低く問題なく使用できる。また、可逆式圧延機では、必ず、パスの切換ごとに圧延荷重を受けたまま起動するので、転り軸受であれば起動が軽く運転が容易になる。

### 3.4 油圧圧下の適用とゲージメータ式 AGC の組み合わせ

可逆式圧延機への油圧圧下の使用は古くから行なわれているが、これにゲージメータ式 AGC を組み合わせ板厚精度を著しく向上させることができた。

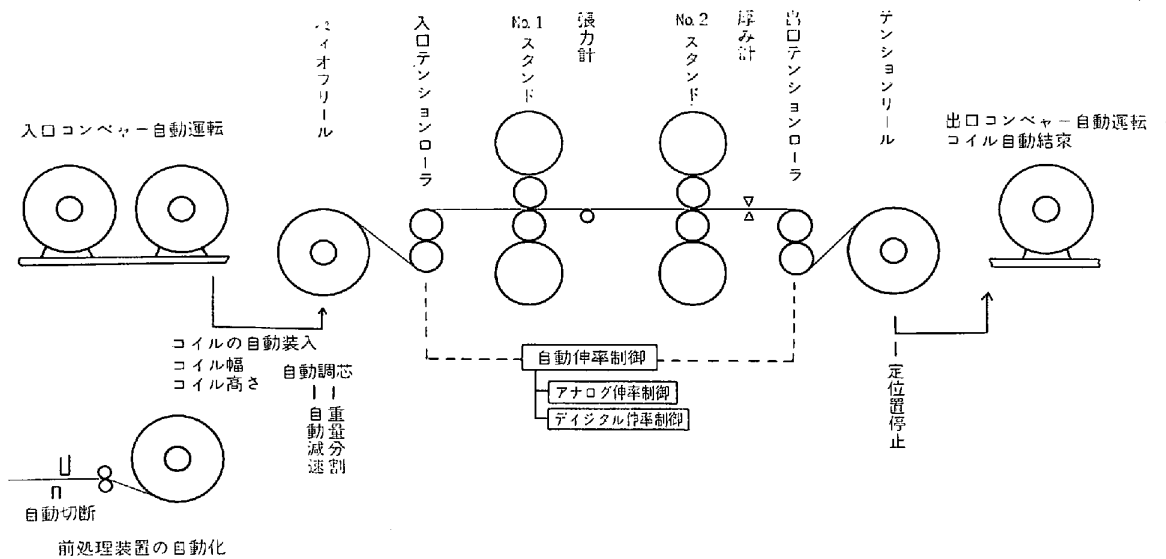


図 7 調質圧延設備の自動化

#### 4. 調質圧延設備

調質圧延設備においてもタンデム圧延機同様、新技術が取り入れられるが、以下に、特長のみを紹介する。

##### 4.1 自動化

図 7 に調質圧延設備における自動化の状況を示す。

コイルハンドリング、作業ロール組替などはタンデム圧延機と同様に調質圧延設備独自のものについて示す。

##### (1) 自動伸率制御

圧延中の伸率を測定して圧下制御、張力制御を行なつて伸率制御を行なうもので、これには伸率の測定に伸率計を使用するものと、計算機を用いる方式があり、後者はきめ細かい制御が行なえる<sup>17)</sup>ので、設備として計算機を持つ場合は有利な方法といわれている。

油圧圧下の高応答性により、圧延機バネ常数制御が可能となつてきたが、調質圧延では、バネ常数を低くし、板厚ムラ、油膜厚み変化、ロール偏芯などに対し、伸率を均一化する方策がとられている<sup>17)18)</sup>。

##### (2) コイルの重量分割

コイル状で出荷する場合、圧延機で設定重量のコイルを巻取ると分割する方式で、計算機を使用している。

##### (3) 前処理の自動化

素材コイルの先端の汚れ、形状不良部を圧延前に切除する必要があるが、巻出機から自動的に所定長さを巻き出し一定長さに切断してゆくもので、これにも計算機が応用されている。

##### 4.2 その他

最近の傾向について項目のみ列挙する。

##### (1) シングルマンドレルパイオフィールの使用

- (2) 前処理にパイオフィールの使用 (疵付防止)
- (3) スムースサーフェスロールの使用
- (4) ロールポリッシャーの使用

#### 5. センジマ圧延機

センジマ圧延機の技術的進歩は比較的ゆるやかであつたが、最近、所々に新技術が取り入れられ、また技術革新が行なわれてきているが、その項目のみを紹介する。

- (1) センジマ圧延機のタンデム化—世界で初めて
- (2) 圧下装置の改良

従来のフォローバルブに代わる電油サーボ弁を用いた方式—Zアクチュエーター、Zトロール、ESP など

- (3) 作業ロール組替の機械化
- (4) 自動化

圧延機の広幅化に伴うロール重量の増加に対処

- (i) コイルハンドリングの自動化
- (ii) ペーパー挿着の自動化
- (iii) 自動減速、自動位置停止、自動レバースパススケジュールの自動設定はどの自動運転

#### 6. 将来の課題

以上の各項でも将来の問題についてふれたので、ここでは、これ以外の問題について述べる。

##### 6.1 自動形状修正

自動形状制御については 1, 2 成功例が報告されているが<sup>11)13)</sup>、まだ、安定したものとはいえない。今後は

- (1) 圧延機の使用環境に耐える形状検出器の開発
- (2) 形状修正の圧延理論の完成

などが必要であるが、これ以外に従来の圧延機の問題を



越えた、圧延機自身、形状修正能力の高い圧延機の開発がわれわれ圧延機製作者に課せられた問題と考える。

### 6.2 作業環境の改善

機械そのものは、著しく自動化し高能率されたが、作業環境の改善についてはあまり考慮が払われていないが今後の圧延機は、作業環境の良いものが望まれよう。

### 6.3 圧延設備とほかのラインとの結合

タンデム圧延機の連続化について、焼鈍ラインと調質圧延設備の結合に成功したことが報じられているが、今後ほかのラインとタンデム圧延機の結合なども考えられるが、これを実現するには、それぞれの設備の信頼性の向上が必要である。

## 7. あとがき

以上に最近の冷間ストリップ圧延設備に採用された新技術の概要と将来の問題について述べたが、筆者の経験不足から論旨のいたらぬ点もあると思われるが、御了承戴きたい。本文で述べた新技術の大半は、わが国独自の技術開発により生み出されたもので、これは各ユーザーと各メーカーが一丸となつて協力した賜物と考える。今後の技術開発においても両者の個々の技術のみでの完成は難しくますます両者の密接な協力が必要と考える。ここにメーカーの立場からユーザー各位の御協力を御願ひする次第である。終わりに、本文の作成にあたって、多くの方々の報告を借用させて戴いた。ここに厚く御礼申し上げる次第である。

## 文 献

- 1) 森本, 才木, ほか: 製鉄研究第 276 号 (1972), p. 10
- 2) 西村, 尾本, ほか: 日新製鋼技報 25 号 (1971), p. 1
- 3) 一丸, 比企野: 日本鋼管技報, 第 56 号 (1971), p. 57
- 4) Iron Steel Eng., 48 (1971) 1, p. D46
- 5) 丸山, 石川島播磨技報, 12 (1972) 6, p. 664
- 6) 村上, 竹内, ほか: 住友金属, 24 (1972) 2, p. 61
- 7) E. W. JAMES, et al.: Iron Steel Eng., 49(1972) 2, p. 33
- 8) M. W. TUCKER: Iron Steel Eng., 40 (1963) 9, p. 145
- 9) K. TODA and B. KAWASAKI, et al.: Proceedings ICSTIS, Suppl. Trans. ISIJ, 811 (1971), p. 787
- 10) 佐々木, 木崎: 石川島播磨技報, 11 (1971) 6, p. 542
- 11) J. DADIES and R. W. TACKSON, et al.: JISI, 189(1972), p. 489
- 12) R. JACKMAN and R. W. GRONBECH, et al.: JISI, 189 (1972), p. 235
- 13) 加藤, 梶原, ほか: 日立評論, 52 (1970) 2, p. 744
- 14) 兒子, 古谷, ほか: 製鉄研究第 246 号 (1963), p. 100
- 15) 田中: 三菱重工技報, 10 (1973) 1, p. 150
- 16) 北之園, 久保, ほか: 日立評論, 53 (1971) 9, p. 847
- 17) 水野, 松香, ほか: 日立評論, 53 (1971) 8, p. 746
- 18) 佐々木, 岸田, ほか: 川鉄技報, 3, (1971) 1, p. 10
- 19) 福井, 藤野, ほか: 日立評論, 55(1973)8, p.781