U. D. C. 521.771.24

東海製鐵株式会社納

# 2スタンドタンデムミル

## ——テンパーおよびダブルコールドリダクション兼用ミル——

## Two Stand Tandem Temper and Double Cold Reduction Mill for Tokai Iron and Steel Co., Ltd.

山本秀幸* 梶原利幸**
Hideyuki Yamamoto Toshiyuki Kajiwara
秦和宣** 藤野伸弘**
Kazunobu Hata Nobuhiro Fujino

### 内容梗概

今回日立製作所が東海製鐵株式会社に納入した2スタンドタンデムテンパーミル(D. C. R. 兼用)は，昭和40年2月に営業運転を開始して以来好調に運転されている。本設備は2スタンドタンデムテンパーミルとして国産第1号であるとともに，極薄ブリキ用圧延設備として，わが国第1号機である。最新の圧延方式たるD. C. R. (再冷間圧延)については未知の分野が多かっただけに，冷間圧延におけるあらゆる経験と研究成果に創意を加えて完成したものである。

本文は，主として設備の概要と極薄ブリキ圧延のために特に払われた設備上の考慮，ならびに本設備のおもな特長についてそのあらましを紹介するものである。

### 1. 緒言

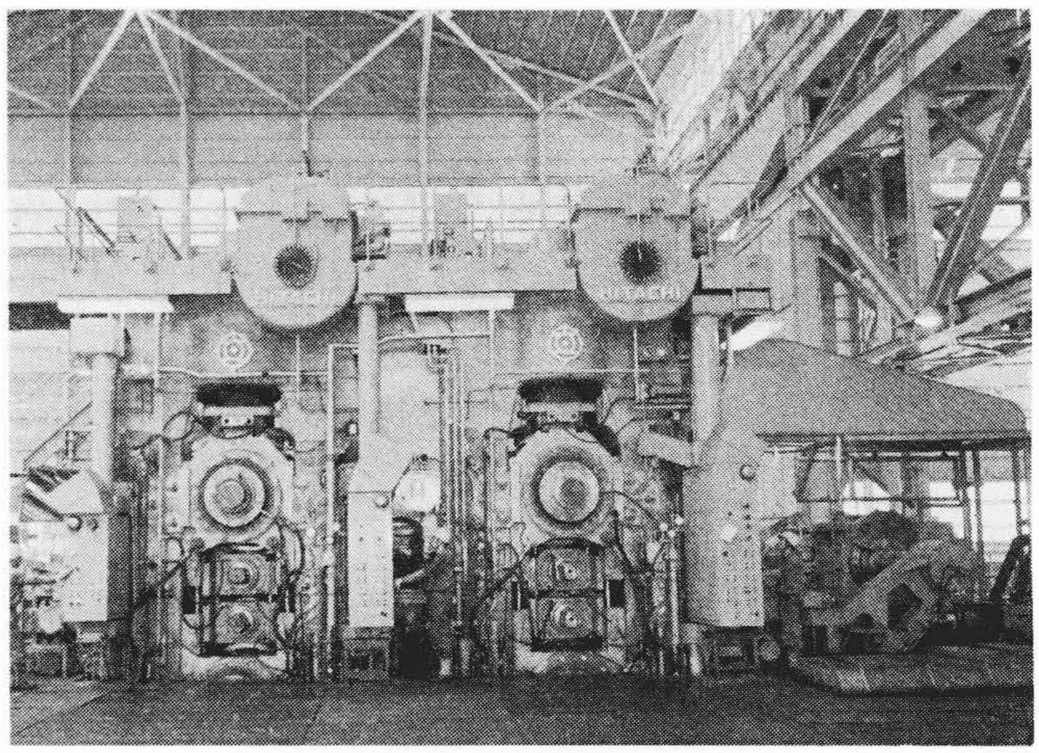
近時，わが国において最新式のコールドタンデムミルがあいついで建設されたが，それにしたがい調質圧延設備も高速高能率化してきている。ところでみがき板などに用いるシングルスタンドのスキンパスミルは，現在ではその大部分が国産化されて立派な業績をあげているが，ブリキ板用の2スタンドタンデムテンパーミルに関しては，アメリカからの輸入に依存しており国産機は1台もない状態であった。このたび日立製作所が設計製作し東海製鐵株式会社に納入した2スタンドタンデムテンパーミルは，完全国産の第1号機であり，さらに最新の冷延技術が生みだした極薄ブリキ板(doubie reduced tin plate)の圧延をも行ないうるよう設計された画期的なものである。

本設備は，日立製作所の多年にわたる大形コールドストリップミルやスキンパスミルの豊富なる製造経験に加えて，圧延理論から機器構造まで広範囲な研究成果を随所に採り入れ，機械関係と電気関係との緊密な連携のもとに設計製作されたもので，昭和40年2月より営業運転にはいっている。本文では主として最近の冷延界の最大関心事たる極薄ブリキ圧延について略述し，本設備の特色についてその概要を紹介する。

### 2. 極薄ブリキ圧延設備の現況

アメリカにおいて，アルミニウム，合成樹脂などの新容器材料に対抗して開発された極薄ブリキ板[1]~[4]は，一応成功したようであり，さらに追打ちをかける勢いにあるといわれている。これに伴い圧延設備も，当初既設の古い設備に手を加えたものを使用し，種々の試みを行なっていたが，これらの経験を基に設計された極薄ブリキ専用圧延設備が，1962年秋に稼動にはいって以来，続々と新設され，改造した設備もいれると十数基に達している。

アメリカ以外では，ブリキ板の競争相手の進出が遅れていたため，極薄ブリキの必要性は，それほど切実な問題とはなっておらず，極薄ブリキ圧延設備も少ないが，徐々に進展して行くものと思われる。**第1表**は，各社の極薄ブリキ圧延設備の施設状況を示すものである。



第1図　東海製鐵株式会社納2スタンドタンデムテンパーおよびダブルコールドリダクション兼用ミル全景

### 3. 東海製鐵株式会社納2スタンドタンデムテンパーおよびダブルコールドリダクションミル

本設備の設計にあたっては，既設の外国製設備を凌駕する最新鋭のものとするため，随所に新しいアイディアを折込み，製品の品質向上，作業能率の向上などを主眼として設計製作したものである。以下に本設備の仕様およびその特長を紹介する。

**第2図**に本設備の全体配置図を示す。

#### 3.1 主仕様

(1) 素材

板厚　0.152~0.8 mm

コイル重量最大　20,000 kg

(2) 製品板厚

冷延　0.128~0.2 mm

調圧　0.2~0.38 mm (ブリキ)，0.4~0.8 mm (みがき板)

(3) 圧延速度

冷延　最高　760 m/min

調圧　最高　1,520 m/min

*　日立製作所本社電機事業部
**　日立製作所日立工場

第1表　世界の極薄ブリキ圧延設備　(※は改造を示す)

| 会社名 | ロール寸法およびミル形式 | 圧延機メーカ | 電機品メーカ | 圧延速度 (m/min) | 成品板厚 (m/min) | 主電動機 (kW) No. 1スタンド | No. 2スタンド | No. 3スタンド |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Bethlehem Steel Sparrows Point アメリカ | 483φ/610φ & 1,420×1,220φ D.C.R. 専用 | Blaw-Knox | Westinghous | 1,380 | | 3,380 TA 450/900 | 2,250 DA 450/900 | |
| Bethlenem Steel Burns Harboer アメリカ | 610φ & 1,420φ×1,370 l D.C.R. 調質兼用 | Blaw-Knox | Alliscthalmers | D.C.R. 855 調質 2,130 | 0.076～0.254 | 3,750 DA T 400/1,000 | 1,870 T 400/1,000 | |
| Inland Steel Co. *アメリカ | 456φ & 990φ×1,070 l D.C.R. | Mesta | | 670 | 0.102～0.61 | 938 | 600 | |
| Inland Steel Co. Indiana Harbour アメリカ | 585φ & 1,420φ×1,370 l D.C.R. | Mesta | G. E. | 1,525 | 0.102～0.61 | 3,750 T 250/500 | 3,750 T 250/500 | 3,750 T 250/500 |
| Jones & Laughlin Aliquippa アメリカ | 585φ & 1,420φ×1,220 l D.C.R. 専用 | E. W. Bliss | G. E. | 1,710 | | 3,750 T 400/800 | 3,750 DA T 400/800 | 3,750 DA T 400/800 |
| Kaiser Steel Fontana アメリカ | 585φ & 1,420φ×1,370 l D.C.R. 調質兼用 | E. W. Bliss | G. E. | 1,710 | 0.076～0.279 | 3,750 DA T 400/800 | 3,750 DA T 400/800 | 3,750 DA T 400/800 |
| Republic Steel アメリカ | 585φ & 1,420φ×1,370 l D.C.R. 調質兼用 | Blaw-Knox | Alliscthalmers | 13,70 | 0.102～0.912 | 2,250 T 400/800 | 1,500 T 400/800 | |
| Sollac フランス | 585φ & 1,420φ×1,220 l | Mesta | Westinghous | D.C.R. 915 調質 1,830 | D.C.R. | 1,000 DA T 400/800 | 2,100 DA T 400/600 | 2,100 DA T 400/600 |
| 東海製鐵株式会社 日本 | 533φ & 2,350φ×1,220 l ロール調質兼用 | 日立 | 日立 | D.C.R. 790 調質 1,520 | 0.128～0.3 | 1,880 DA T 360/900 | 1,120 T 360/900 | |
| U.S. Steel Fairless アメリカ | 533φ & 1,370φ×1,220 l D.C.R. 専用 | U. E. | Alliscthalmers | 1,000 | | 1,800 T 250/840 | 760 250/840 | |
| U.S. Steel Gary アメリカ | 533φ & 1,370φ×1,220 l D.C.R. 専用 | U. E. | Alliscthalmers | 670 | | 1,800 T 250/840 | 760 250/840 | |
| Columbia-Geneva Steel Div of U.S. Steel アメリカ | 533φ & 1,370φ×1,220 l D.C.R. 専用 | U. E. | G. E. | 670 | | 1,800 T 250/800 | 760 250/840 | |
| Tennessee Coal and Iron Div of U.S. Steel アメリカ | 533φ & 1,345φ×1,220 l D.C.R. 専用 | U. E. | Westinghous | 670 | | 1,800 T 250/840 | 760 250/840 | |
| Natinal Steel Weirton Steel Co. アメリカ | 483φ & 1,420φ×1,320 l D.C.R. | Mesta | Westinghous | 1,525 | | 3,000 T 360/720 | 3,000 T 360/720 | |
| Natinal Steel Weirton Steel Co. アメリカ | 495φ & 14,20φ×1,320 l | Mesta | Westinghous | 1,525 | 0.102～0.813 | 4,250 TA T 400/800 | 1,800 T 400/800 | |
| Youngstowm Sheetand Tube Co.*IndianaHarbour | | U. E. E. W. Bliss | G. E. Westinghous | 980 | | 1,310 175/437 | 1,310 100/600 | 1,310 300/600 |

（4）　圧延機形式

533φ & 1,350φ×1,220 l　2スタンドタンデム四重圧延機　作業ロールツインドライブ

（5）　主電動機

| | | | |
|---|---|---|---|
| ペイオフリール | DC 350 kW | | |
| | 235/1,160 rpm | 2台 | |
| No. 1 ミル | DC 940 kW | | |
| | 360/900 rpm | 2台 | |
| No. 2 ミル | DC 560 kW | | |
| | 360/900 rpm | 2台 | |
| テンションリール | DC 700 kW | | |
| | 235/1,160 rpm | 1台 | |

### 3.2　本設備の配置

#### 3.2.1　スタンド数

現在極薄ブリキ用圧延設備においては，2スタンドのもの，3スタンドとしたものとの二通りがある。圧延作業より考えると，No. 1スタンドでリダクションを行ない，No. 2スタンドで形状を整えるための軽圧延を行なっているので，一応2スタンドで十分である。しかし，3スタンドとしている理由は，2スタンドシステムにおいてNo. 1スタンドで強圧下を行なうため，入口側で強力なバックテンションをかける必要があり，このためテンションローラを通しているが，コイルの焼鈍状態や形状などがわるいと腰折のため，十分な圧下や圧延速度が得られにくいので，テンションローラの代わりにリダクションスタンドの前にもう1台スキンパスミルをおいて素材コイルの性質および形状を改善するとともに，リダクションを行なうNo. 2スタンドに対して強力なバックテンションがかけられることがあるといわれている[5]。

このように，材料としての焼鈍コイルの良否が2スタンドか3スタンドかの決定の大きな要因となるが，実際的には前段階においてスキンパスしなければ冷間圧延できないという場合は特別な場合で，特に3スタンドにする必要性は薄いと考えられる。事実このような意味での3スタンドの例はまれである。本設備では，このような点およびテンパーミルとしての操業性も考え合わせて2スタンドに決定された。

#### 3.2.2　入口側，出口側コイル取扱装置の配置

コールドタンデムミルの作業能率向上はミル入口側，出口側におけるコイルの搬入搬出をいかに能率的に行なうかにかかっている。このため各コイル取扱機器の配置が重要となる。本設備では，この点を考慮し，コイルコンベヤ中心とパス中心とを一致させ，コンベヤよりベイオフリールへのコイルの移動を円滑に，かつ短時間で行なえるようにした。またこの配置は後述のコイル幅中心とパス中心とのセンタリングを行なううえにも好都合である。

### 3.3　高速性に対する配慮

#### 3.3.1　高速テンションリールの開発

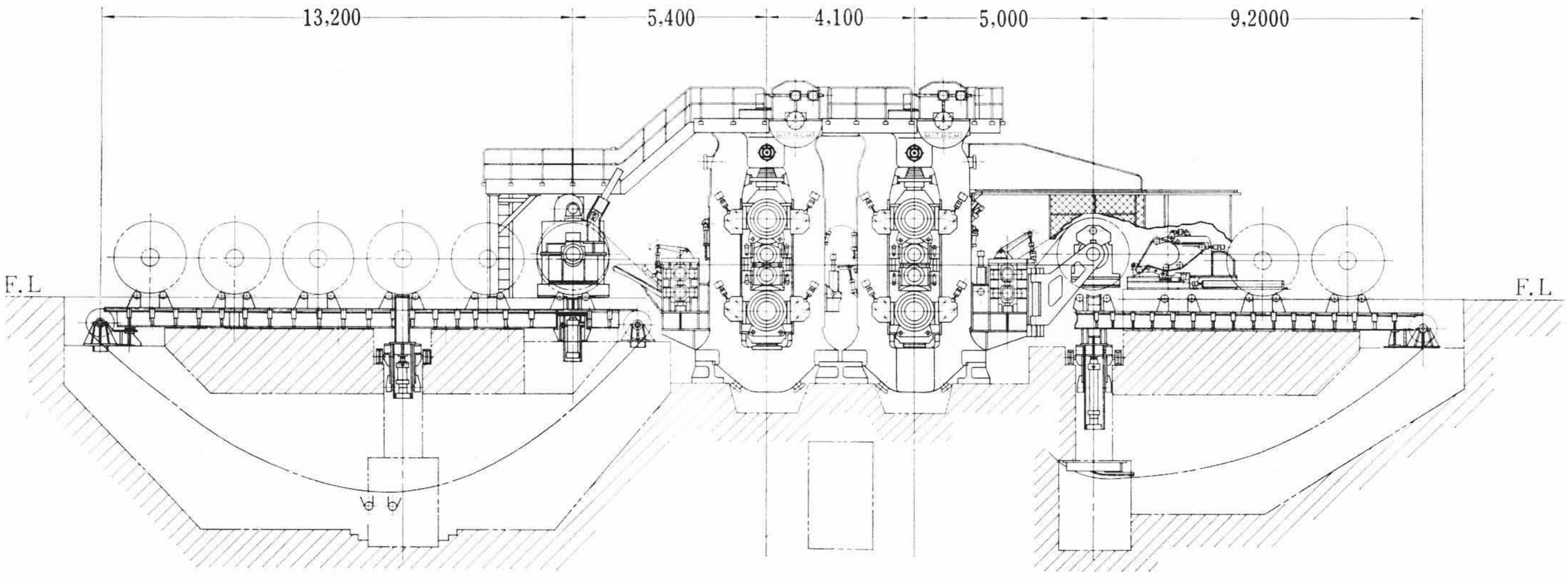
高速となるためリールはモータ直結とした。このためドラム中心とモータ中心とが一致するので，ドラムの開閉機構も複雑となる。今回の設備ではこの機構に軸受にスラストの作用しない日立独自の方式を開発した。その構造を第3図に示す。また高速となると振動が問題となるが，バランスに対しては設計上十分なる考慮を払うとともに，さらに工場組立時に入念なバランス試験を行ないその性能を十分確認したうえで納入した。その結果，静かで円滑な巻取作業が行なわれている。

### 3.4　製品品質の向上

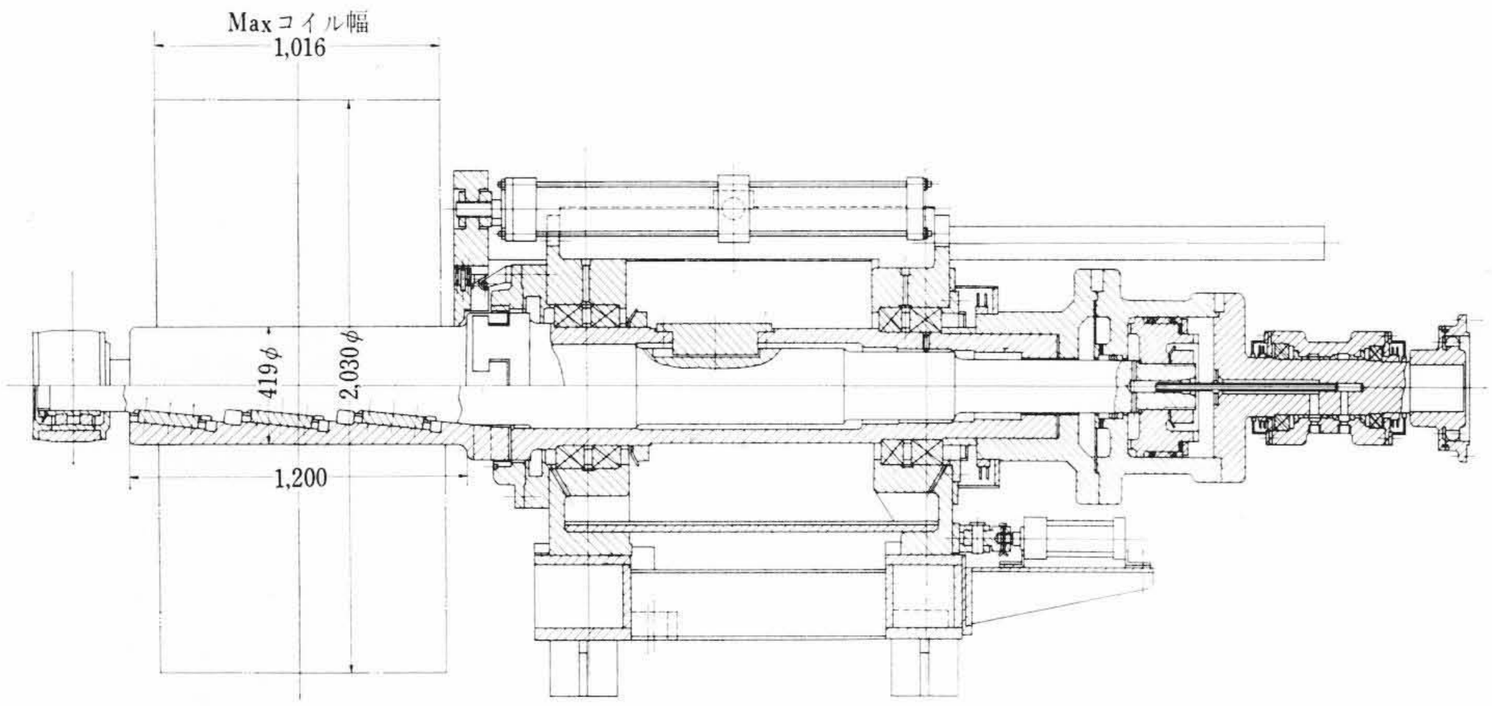
#### 3.4.1　板厚精度の向上

（1）　極薄用自動板厚制御方式の確立

板厚が薄いために，特に加減速中に変化する補強ロールネック軸受の油膜厚み，ロールとストリップ間の摩擦係数の変化が大きな影響を及ぼすことになるので，これらの変化を勘案した予測制




第2図　東海製鐵株式会社納2スタンドタンデムテンパーおよびダブルリダクション兼用ミル全体配置図




第3図　日立式モータ直結形高速テンションリール

御方式を考案し，従来のAGC装置に付加した。

（2）　圧下用スラストベアリングの採用

いかに優秀なる制御方式を確立しても圧下装置の応答が遅くては無意味である。今回の設備では従来のスラストメタルの代わりに，スラストころがり軸受を使用し，圧下の即応性を改善した。

（3）　適正張力の確保

ペイオフリールを長胴式ダブルマンドレル式にして均一な，かつ強力な張力を与えるようにするとともに，No. 1ミル入口，No. 1ミルNo.2ミル間，およびNo. 2ミル出口にテンションメータを備え適正張力の確保を図った。

### 3.4.2　伸率の安定

調質圧延時の伸率の変動はすでに説明されているように[6]，素材板厚ムラ $dh_e$，ロール間げきの変化 $dc$ とバネ常数 $K$ との間に次のような関係がある。

$$d\varepsilon=\frac{1}{he}\left(\frac{K}{K+\dfrac{\partial p}{\partial he}}\right)(dh_e+dc)$$

したがって

$$K\to\infty \quad d\varepsilon_{\max}=\frac{1}{h_e}(dh_e+dc)$$

$$K\to 0 \qquad p\varepsilon_{\min}=0$$

となりバネ常数の小さいほど均一な伸びが得られることになる。このためには定圧式油圧圧下が有効である。本設備では，主として調質圧延を行なうNo.2ミルに定圧式油圧圧下装置を併設した。

### 3.4.3　ストリップ形状の改善

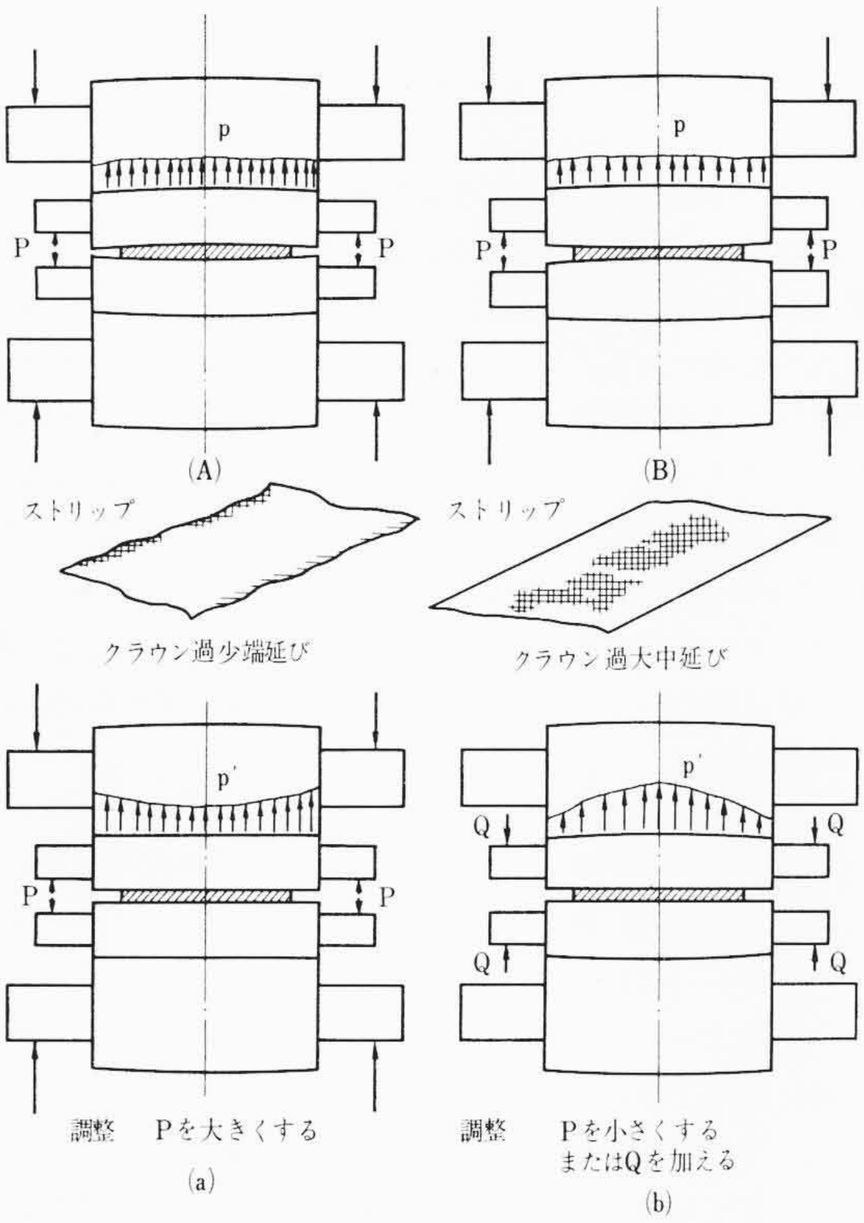
（1）　ロールクーラントヘッダの特殊分割

圧延荷重によるロールのたわみを補正するため作業ロール研摩時にロールにクラウンをつけている。しかし，この機械的クラウンはある一定の圧延条件に対してのみ適正であり，材料コイルの形状，ロールの温度分布などが変化すれば，もはや適正とはいいきれない。このため古くからロールクーラント量をコントロールしてロールカーブを調整する方法が広くとられている。本設備では特に薄い板に30～40%の強圧下を加えるため形状コントロールがむずかしくなる。したがってロールクーラントの使用法にも特別の考慮が必要で，ロール冷却効果の研究調査結果を応用し，適切なヘッダの配置を行なうとともに各ヘッダの分割に関しては従来のコールドストリップミルとは異なった極薄用の方式を採用した。

（2）　ロールクラウンコントロール装置の設置

前述のロールクーラント量を調整する方法も，クラウン量の変化が少なく，かつロールの熱容量が大きいので瞬間的にクラウン量を変化させることはできない。また一定の状態に安定させておくことがむずかしい。このため，本設備では油圧式ロールクラウンコントロール装置を採用した。

本方式は前述のようにロールのクラウンがその圧延に対して適切でないために生ずるストリップ形状の不良（クラウン過大のときは中延び，クラウン過少のときは端延びとなる。）を作業ロールチョックに加える力を調節することによって作業ロールと補強ロールとの間の接触変形の状態を変化させ作業ロール間げきの幅方向分布を調整するもので，補強ロールを有する圧延機のみに適用される。この関係は**第4図**に示すとおりである。Pが小さいときは作業ロールと補強ロールの接触部は圧延圧力による接触圧力pを生じ，それはより偏平変形を起こしその分だけ補強ロールと作業ロールはへこみ作業ロール間げきを大きくしている。ついで，Pを大きくすると作業ロールはさらに補強ロールに押付けられると同時にモーメントを与えられる結果，**第4図**（a）のp′のよう




第4図　ロールクラウンコントロールの説明図

な接触圧力の分布となり p′ の大きいほど作業ロールと補強ロールの接触部のへこみが大きいため作業ロール間げきの変化は幅方向によって異なり，この場合はストリップの中高を打消すように変化し，したがってストリップは端延びがなくなりフラットな形状となる。(B)は(A)の場合と逆の現象に対して調節を行なったものである。

本方式は，日立製作所ではすでに数年前よりアルミ用圧延機，およびスキンパスミルに応用し実績をあげているものである。

前述の原理による実際的方式として**第5図**に示す三つの方式がある。このうち(B)方式が構造も簡単で，かつ調整量も大きく，一般的に推奨する方式である。本設備もこの(B)方式を採用した。

参考のために**第6図**に理論的に求めたロールカーブの一例を示す。

以上説明したように本方式の特長は次に示すとおりである。

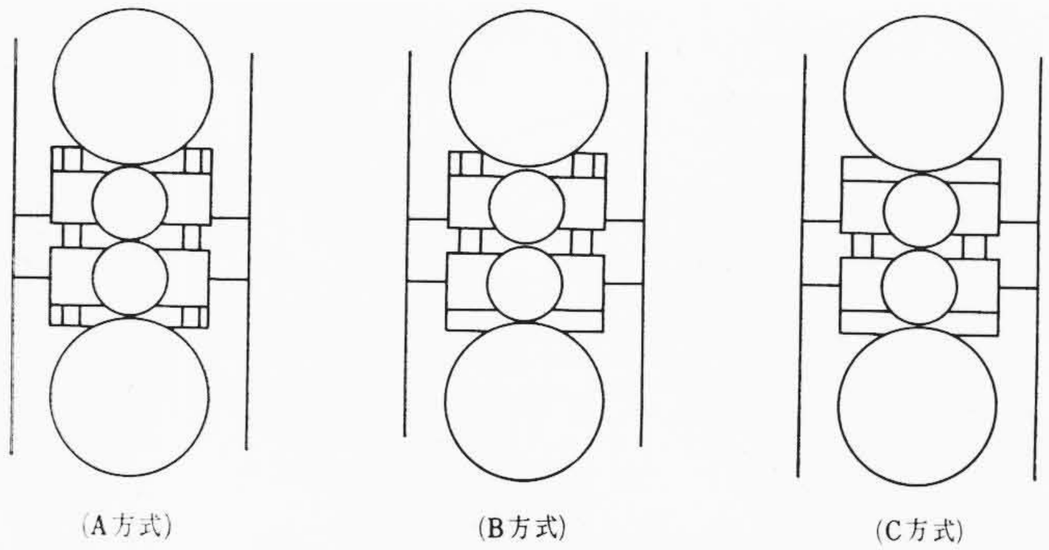
（1）　瞬間的にクラウン量を任意に変えることができる。

（2）　端延び，中延びのいずれに対しても適切なロールカーブが得られる。

（3）　取扱いが簡便である。

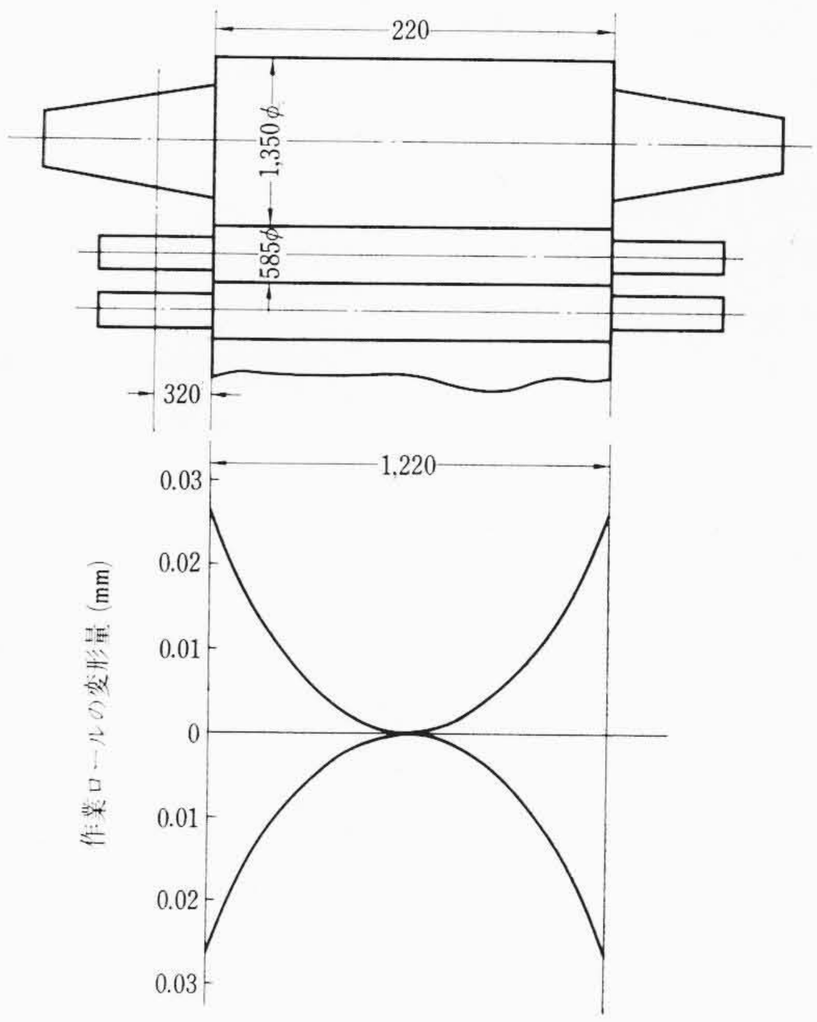
### 3.4.4　コイルバックリングの防止

張力をかけてコイルを巻取るとき，法線方向に巻締力 $\sigma_r$ が，接線方向に接線力 $\sigma_t$ が生じ，コイルが巻太ってゆくにしたがって $\sigma_r$ は正方向に増加するが $\sigma_t$ は正方向の値が減じ，負の方向へ増大する。すなわち，巻太るにしたがって圧縮力が増加する。この値が一定値に達するとコイルは内径部でバックリング（圧延現場ではしばしばキンクと呼ばれている）を生ずる。このバックリング発生の条件は張力，板厚，コイル径によって定まるが，一般に板が薄くなるほどバックリングを起こしやすく，大体 0.2 mm t 程度以下ではしばしばバックリングを生じている。これを防ぐため一般にスプールが使用されている。本設備のように特に極薄物を取扱う場合は，スプールの使用が必須条件となる。このスプール使用を能率的に行なうためスプール自動供給装置を設けている。




ロール形状調整量の比較
$\delta_0$：　作業ロール1本当たりで可能な調整量(強度上許しうるPの最大値で決まる)
$\delta_A = 2\,\delta_0 \sim -2\,\delta_0$　　最大範囲　$4\,\delta_0$
$\delta_B = 2\,\delta_0 \sim -\delta_0$　　最大範囲　$3\,\delta_0$
$\delta_C = 2\,\delta_0$　　最大範囲　$2\,\delta_0$

第5図　ロールクラウンコントロールの各方式と調整量の比較




第6図　理論計算より求めたクラウン量

### 3.4.5　コイルの傷付防止

極薄ブリキ圧延ではNo.1ミルで強圧下をかけるため，強力なバックテンションをかける必要がある。この場合，幅方向のテンション分布が不均一であるとしばしば腰折れを生ずる。この傾向は，本設備のようにバッチ炉で完全焼鈍したコイルを取扱う場合では著しい。この点を考慮し，均一なバックテンションがかけられるようペイオフリールを長胴式ダブルマンドレル式とした。長胴式であるため，コイルが巻細った場合にもテンションによりコイル中央が変形することを防いでいる。

### 3.4.6　ストリップの汚染防止

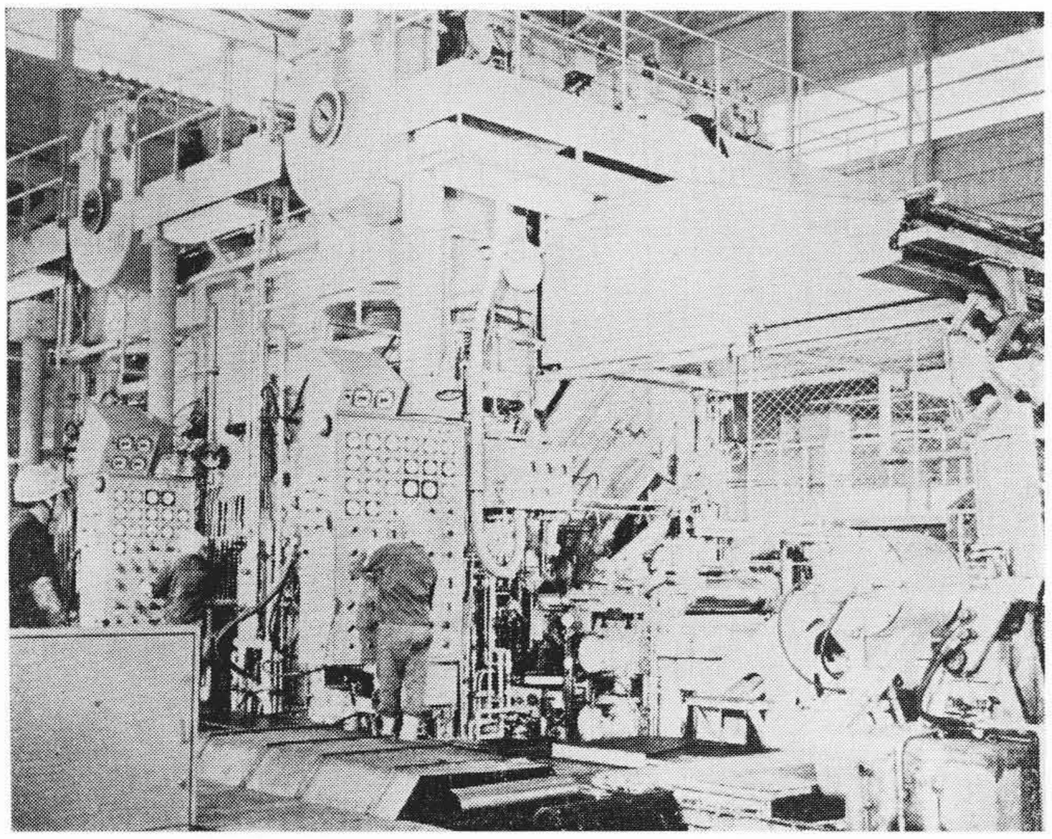
ストリップの汚染を極度にきらうブリキを圧延するため，また潤滑管理を簡素化するため，作業ロールネックベアリング，および各種ローラのベアリングの潤滑に噴霧潤滑を採用した。また，ロールクーラント系統に洗浄油系統を設けストリップの清浄化をはかった。

## 3.5　作業能率の向上，作業人員の削減

最近の圧延設備では作業能率の向上，特に操作を自動化し作業人員を少なくすることが要求されている。今回の設備は特にこの点に意を注いだ。

### 3.5.1　入口側コイル取扱装置の自動化

**第2図**の全体配置図において，コイルコンベヤよりペイオフリ



第7図　東海製鐵株式会社納2スタンドタンデムテンパーおよびダブルコールドリダクション兼用ミル出口側

ールに至る次の動作を自動化した。

（1）　オフゲージ部の切断

コイルコンベヤよりコイルトランスファーカによってコイルをコイルポジショナに移し，オフゲージ部を所定の長さで所定の枚数だけ巻き出し切断する。オフゲージ部切断後再びコイルトランスファーカによりコイルコンベヤ上に戻す。

（2）　幅方向のセンタリング

コイルはヤード内の運搬機によりコイルコンベヤ上へ載せられるが，このときコイルの幅中心とコンベヤの幅中心すなわちパス中心とは一致しないのが普通である。ペイオフリールへのコイルのそう入を容易にするため，前述のコイルトランスファーカのところで幅方向のセンタリングを行なう。

（3）　コイル中心とペイオフリールドラム中心のセンタリング

コイルがペイオフリールへ移される以前にコイル外径を検出し，コイルをペイオフリールへそう入する際コイル中心とペイオフリール中心とが一致するようコイルリフトの上昇位置を規制する。

以上のようにコイルがコンベヤ上に載せられて以後ペイオフリールにそう入されるまでの一連の動作は，すべてリミットスイッチと油圧シリンダおよび巧妙な油圧回路により自動運転を行なっている。

### 3.5.2　スプール自動供給装置

スプールを使用する場合，各コイルごとに新しいスプールをテンションリールに供給しなければならない。本設備ではこの作業を能率的に行なうために自動スプール供給装置を設けた。**第7図**にミル出口側の外観を示す。

### 3.5.3　オイルセラーの自動化

コールドミルのオイルセラーは，地上の機器の占めるスペースより広くプラントの心臓部であるが，内部は高温，高湿で労働条件も悪く，無人運転が要望されている。本設備では，セラー内の各機器の運転，温度，圧力の調整操作などを自動化した。

### 3.5.4　補強ロール組換えの簡便化

作業性をよくし，かつ建屋のクレーンの負担を少なくするため補強ロール組換えは，ロールアッセンブリを上下重ねてそりに載せ油圧シリンダにより引き出す構造とした。補強ロールとそり，そりとロールハウジング中心とが確実に一致するようになっているので，ロールアッセンブリをハウジングウィンドウ内へ送り込む作業も容易となる。補強ロール用キーパープレートは，往々にして配管の林立する中にあるのでその出し入れの操作がやりにくい。この操作を油圧シリンダにより行ない作業能率を高めている。

### 3.5.5　テンションリールドラム交換の簡便化

今回の設備は，ブリキ板よりみがき板までの0.128 t～0.8 tの広範囲な板厚の製品を取り扱うためリールドラムは419 $\phi$ と508 $\phi$ の双方が必要である。ドラム径を変えるには，アタッチメントの取付け，ドラム軸交換およびリール本体交換の各方法があるが，本設備ではリールマークがつかずドラム交換を迅速に行なえる本体交換式とし，クランプ方法その他に特別の工夫をはらっている。

## 3.6　ロールクーラント装置

極薄ブリキの圧延，調質圧延の双方を兼用していること，極薄ブリキの圧延は製造についても高度の調整を必要とするため，次の四系統を設置した。

（1）　直　接　系　統：　圧延油系統，冷却水系統
（2）　循　環　系　統
（3）　洗　浄　油　系　統
（4）　スキンパス油系統

（1），（2）はいわゆるロールクーラント系統であり，両者の優劣は，一般に次のように評価されている。

直接式：冷却性，潤滑性とも良好な状態で使用できるが，一般に圧延油の回収は不完全で，経済的には不利である。

循環式：現状では冷却性，潤滑性とも劣るが，圧延油を循環して使用できるので経済的には有利である。常温で水と十分混合し，かつ潤滑性のよい圧延油が開発されれば，この方式のほうが有利となろう。

極薄ブリキの圧延に対しては，直接式，循環式の双方が使用され，一般には，循環式に変わる傾向にあるといわれているが，本設備のように，時々極薄ブリキ圧延を行なうような兼用式の場合には，系統の簡単な，潤滑管理の容易な直接式が有利と考えられる。本設備では，直接式を主体としたが，極薄ブリキ用の圧延油はまだ開発途上にあること，極薄ブリキ圧延の技術については経済性も含め種々問題点があるなどのため，将来の技術開発に応じうるよう循環式を併設した。

## 4.　結　　言

以上に紹介したように，本設備の完成により2スタンドタンデムテンパーミルおよびダブルコールドリダクションミルが，国産技術で十分実用に供しうることが実証された。さらに，本設備のモータ直結式高速テンションリール，ロールクーラント装置，自動化された入口側コイル取扱装置およびロールクラウンコントロール装置は，最新のコールドタンデムミルにおけるこれらの装置に比べてなんら遜色はなく，むしろ一歩前進しているといえよう。これら各機器の完成により，コールドタンデムミル製作についてもまったく心配される点がなくなったと確信している。

終わりに臨み，本設備の製作にあたっては，終始ご協力賜わった富士製鐵株式会社，および東海製鐵株式会社の関係者各位に深甚の謝意を表わす次第である。

## 参　考　文　献

（1）　吉崎鴻造：　新編ブリキ（昭-39 鉄鋼と金属社）
（2）　M. D. Stone：　Iron and Steel Eng. Vol. 37 (June 1961)
（3）　J. Billigmann：　Stahl und Eisen 82 (März-1962)
（4）　原口，梶原ほか：　日立評論 **45**, 1936 (昭38-12)
（5）　A. F. KENYON：　Iron and Steel Eng., 39 (Feb. 1964)
（6）　R. W. BARNITZ：　Iron and Steel Eng., 38 (April 1963)
（7）　原口，梶原：　塑性と加工 5　(昭39-7)