

# 精密圧延機の構造および特性

鈴木 弘

## まえがき

この圧延機は新合金 S フレックス (コエリンバー) の腕時計ぜんまい用のリボン材を圧延する専用機として設計製作されたものであって、素材は真空溶解の後多数の工程を経て、肉厚 1 mm 内外のリボン状素材となり、粗圧延の後適当の熱処理を施して、次にこの圧延機で仕上げ圧延を行なう。圧延後に切断熱処理等の加工を経て、ぜんまいが製造されるが、この仕上げ圧延で肉厚・表面粗さ等を要求公差内に正しく入れなければならない。

この圧延機の計画時の最も重要な要求は下記の 2 項目である。

(1) 圧延材料は S フレックスで、圧延時の変形抵抗は  $200 \text{ kg/mm}^2$  を越える場合があり、素材寸法は肉厚最大 1 mm、幅 2~10mm とする。

(2) 圧延製品の肉厚は 0.1mm 程度で、定められた値に対し誤差  $\pm 1 \mu$  以内におさめること。

もちろん、具体的に圧延機の設計を進めるためには、これ以外に多数の項目にわたって、要求される数値を決定しなければならないが、圧延方式の決定についても筆者の意見を反映することができる事情にあったので、作業方式と圧延機の寸法性能との両者を、同時に考慮しながら計画を進めることができた。

すなわち、圧延機の仕様の決定に際しては、ユーザとメーカーの両方の立場を筆者が兼ねて考えられるような事情にあり、一般の場合のように要求仕様を与えてそれに合わせて設計したものとは違うので、合理的に決定することができた。圧延機の計画方針に関する結論を以下に簡単に列記し、その理由については、一般に興味のあると思われるもののみ後に節を改めて述べる。

## 1. 圧延機の計画方針

(1) 圧延機の弾性変形を極小に压える。ロール間隙で製品の肉厚が決まるが、圧延荷重により圧延中圧延機が弾性変形を生じて、このためロール間隙は無荷重のときよりも大きく、また圧延荷重によって変化する。しかも圧延荷重は、圧延中に生じる各種の要素の変動の影響を受けて変化する性質のものであって、これを完全に一定値に保つことは困難なので、圧延荷重に変動が生じて肉厚変化の少ないよう、圧延機の剛性を極力高くする方針を採る。

この方針に従いハウジング・圧下スクリーなどは使用応力を普通の場合の 1/2 以下に压え、ベアリングチャックは箱形構造にし、ロールは 6 段配置として水平方向

の曲がりも制限し、また作業ロールは超硬合金製とする。

(2) 作業時の温度条件を一定にし、しかも短時間で平衡状態に達するようにする。

温度変化に伴い各部の寸法の変化やロールと材料間の摩擦係数の変化が起こり、製品の肉厚の均一度に悪影響をおよぼすので、単位時間の発熱量を減らすため、圧延速度は生産量を満たす範囲で低速にする。また十分な量のローリングオイルを使用するとともに、圧延機を設置する部屋全体の温度調節をする。

(3) 連続圧延方式を採用する。加工が力学的にも熱的にも定常状態で進行するようにするため、3 スタンドタンデム方式を採用する。

(4) 張力制御方式を採用する。最近の高速タンデム圧延機では、各スタンドの速度を制御して、スタンド間の張力は前後両スタンドの速度の平衡から自然に決まる方式を採用しているが、張力を厳密に一定値に保たなければ肉厚の均一を保証できないので、張力を積極的に一定値に保つための自動制御を行なう。

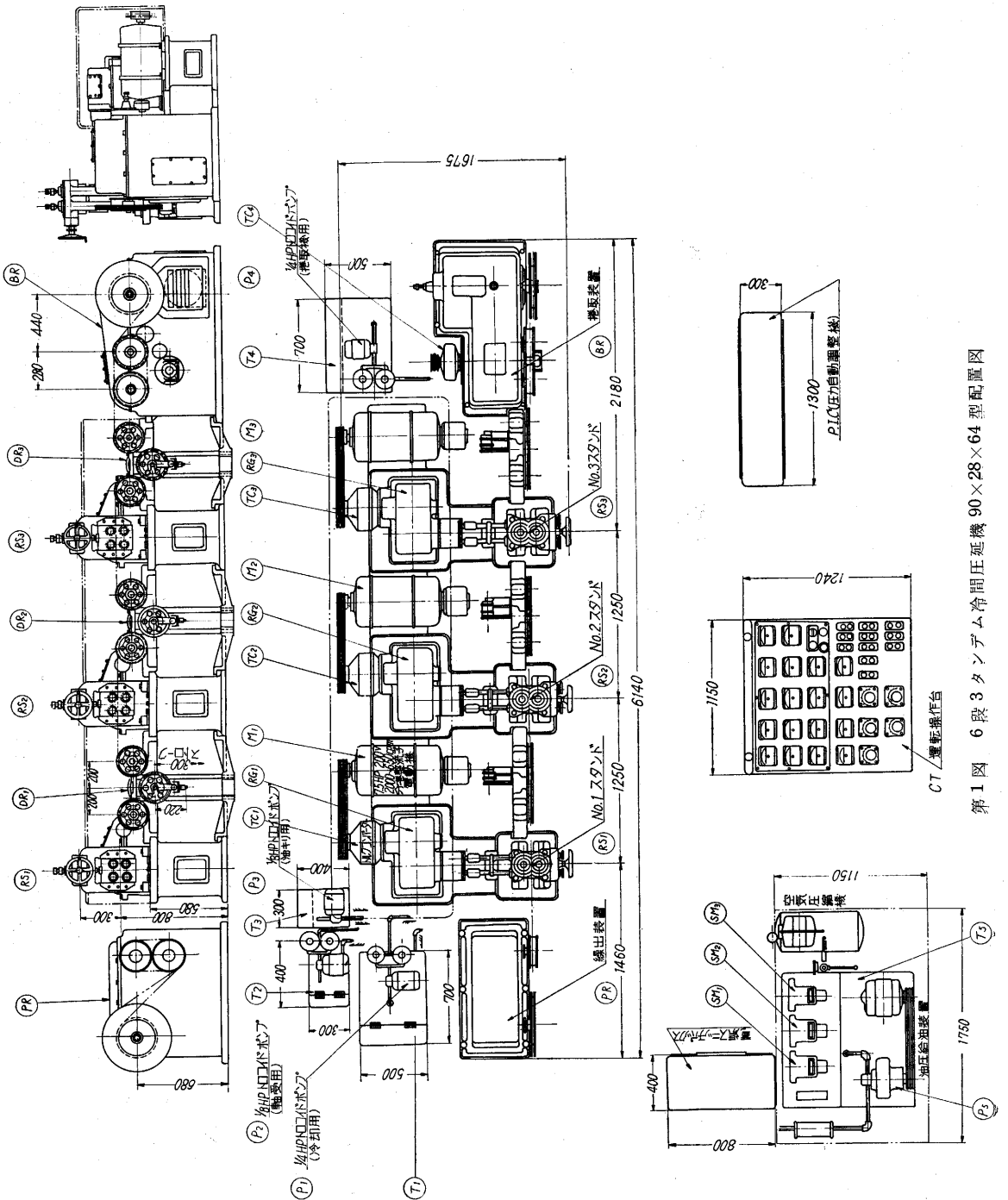
(5) 交流モータとトルクコンバータの組合せで、圧延機を駆動する。圧延機の価額を安くするためには、直流電源を必要としないこの方式が有利である。また作業上の特殊事情から、この圧延機に課せられる圧延作業の所要動力の最大値と最小値の比が 20 : 1 を越える広範囲であるので、この方式を採用するのが最も能率がよい。

(6) 作業条件の内容を数字的に把握できるようにする。作業条件を数字的に把握して作業するのは、普通の場合でも必要なことであるが、この場合のように要求される技術内容が困難で、しかも次第に製造方式を変えていく必要の予想される場合には、作業条件と製品の寸法や、機械的性質との関係を具体的に知ることは、きわめて重要な条件であると考えたので、この方針を採った。

(7) 重要部品の寸法精度は事情の許すかぎり高くする。ロールの真円度や偏心誤差はもちろん圧延後の肉厚むらとなって現われるが、動力伝達系中の歯車のピッチ誤差も、製品の表面にギヤマークを生じるので、ロール歯車等はすべて精密研磨を行ない、軸受孔はジグボアで加工する方針で設計した。

## 2. 製作分担

この圧延機はきわめて特殊な構造と特性のものであるため、設計のモデルにすべき類似の圧延機は、筆者の知る範囲ではない。したがって特定の一社に設計製作を委任する方針を採らないで、機能的に数部に分割して、そ



第1図 6段3タンデム冷間圧延機90×28×64型配置図

それぞれの部門に関して、最も近い実績を持ち製作し得る能力を持つと考えられるメーカーを選んで、下記の分担に従い製作した。

- 1) 圧延機全体の方式・主要部構造・主数値の決定および取まとめ

東大生産技術研究所・鈴木研究室 } 共同  
第二精工舎 }

- 2) 圧延機本体の設計および製作(素材繰出し装置および巻取装置を含む) 吉田記念鉄工所
- 3) 圧延機部品の精密加工 第二精工舎
- 4) 張力制御機構の設計および製作 山武ハネウエル
- 5) 各圧延機および巻取装置の速度制御機構の設計および製作 東洋電機
- 6) 電装(各種インターロック・警報装置等を含む) 幸上無線

その他主要部品のメーカー

- 7) 作業ロール(超硬合金製) 住友電気工業
- 8) トルクコンバータ 製作 岡村製作所  
協力者 東大生研・石原研究室
- 9) 圧下力計 共和無線

### 3. 主要部機構

#### (1) 圧延機主要数値

型式 3 タンデム 6 段圧延機張力制御式  
 ロール配置 28mm~90mm×64mm 6 段式  
 スタンド数 3 台  
 材料幅 2~10mm  
 素材最大肉厚 1.0mm  
 製品肉厚 0.07~0.11mm  
 圧延速度 8~20m/min  
 原動機 交流分巻モータおよびトルクコンバータ  
           圧延機用 7.5HP×3 台  
           巻取用 2.0HP×1 台  
 張力調節範囲 全ダンサーロールとも 4~200kg

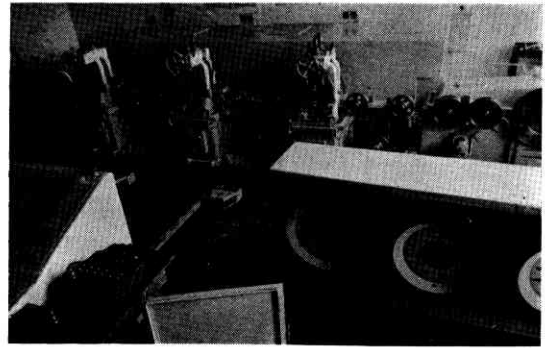
#### (2) 主要部品配置(第1, 2および3図参照)

材料はリールに巻き込んだ状態で左端の繰出装置 PR に取り付け、右へ順に第1スタンドRS1・第2スタンドRS2・第3スタンドRS3で圧延されて、巻取装置のリールに巻き取られる。各スタンドを出た位置にダンサーロールDR1・DR2・DR3があり、油圧シリンダで任意の荷重を加えられる。

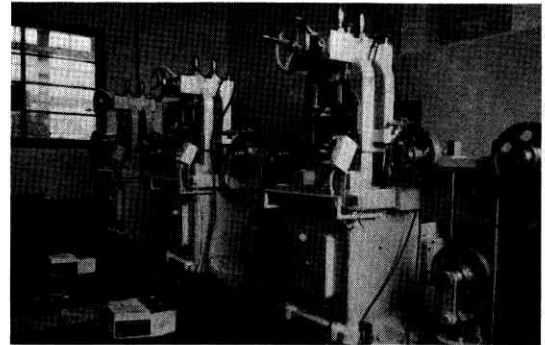
圧延機の正面に運転操作台、左側に電源スイッチボックスと油圧給油装置(第4図)、右側にダンサーロールの張力設定用のPIC(圧力自動調整機)と速度制御用の機器をおさめたボックス(第5図)がある。

#### (3) 圧延機動力伝達装置(第6図参照)

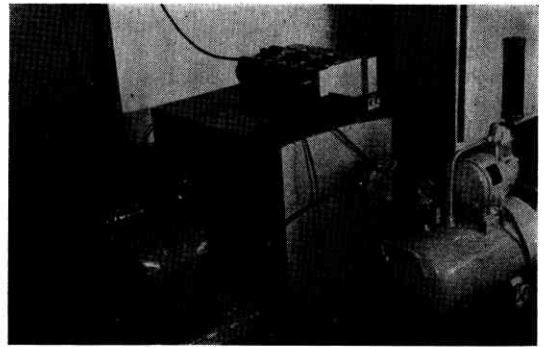
第1~3スタンドには、それぞれ7.5HPの交流分巻モータを使用し、岡村製作所製トルクコンバータM-14型をVベルトで駆動し、トルクコンバータの出力側から減



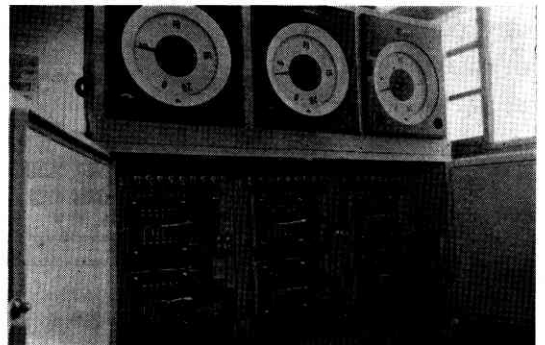
第 2 図



第 3 図

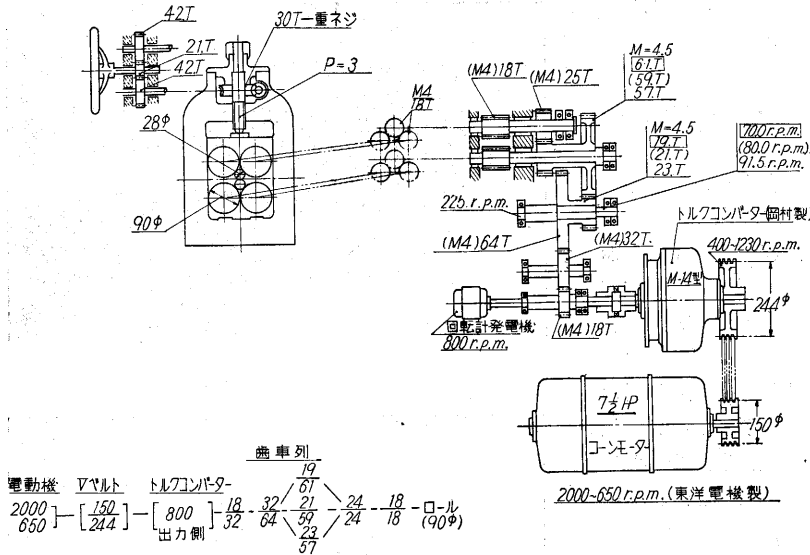


第 4 図



第 5 図

速歯車を介して、6段圧延機の補強ロール4本を駆動す



第6図 圧延機動力伝達装置

る。モータの使用回転数規準値 650~2,000 rpm およびトルクコンバータの入力軸回転数範囲 400~1,230rpm は3スタンドに共通であるが、減速歯車の減速比が少しずつ違うので、トルクコンバータの出力軸の回転数が等しいときのロールの周速度は、第1・2・3スタンドと順に約10%速い。連続圧延中各スタンドの圧延動力はほぼ等しく、標準圧下率を10%としたので、それに一致させるためである。

トルクコンバータを使用することによって、下記のような特性を実現できる。

1) 圧延機の圧延速度と圧延トルクとを切り離して独立に変化することができる。すなわち、トルクコンバータの入力側と出力側との両者の間の滑りが可能であるから、モータ速度の値のいかにかわからず、圧延速度は3スタンドを連続的に通過して行く材料の速度に従って決めることができる。一方出力軸のトルクは入力軸の回転数の2乗に比例するので、入力軸の速度を調節すれば、任意の圧延速度で必要な圧延トルクを与えることができる。

2) トルクコンバータの出力は、入力軸の回転速度の3乗に比例するので、モータの速度範囲1:3に対応する出力変化範囲は1:27となり、きわめて広い。この圧延機では要求される作業条件の範囲が非常に広いので、この特性も重要な条件である。

(4) 巻取装置(第7図参照)

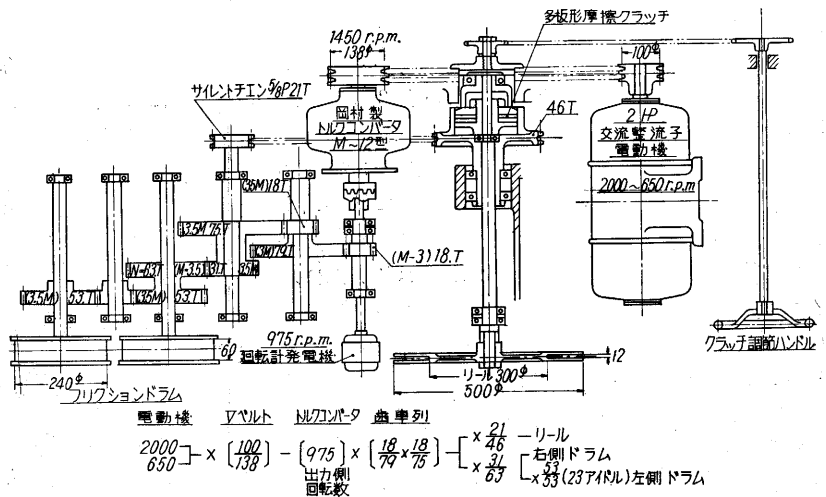
第3ダンサーロールで加える張力に打ち勝って材料を引き取るに足るだけの力を材料に伝える部分と、リールの駆動とは別に分離した。リールに巻き込まれる材料に直接大きな張力を加えると、表面傷が発生するおそれがあり、特に2mm程度の狭幅のリボンを巻き取る時にはそれが甚しいので、このような構造を採用した。

図からわかるように、2HP交流分巻モータからトルクコンバータを介して、減速歯車で減速して2個のフリクションドラムに動力が伝えられ、材料はこれに4~6回巻き付けて、摩擦により動力を伝えて引き取る。リールはフリクションドラムに運動するが、途中で摩擦クラッチがあるので、リール内の材料コイルが巻き太ってくると、滑って巻取速度を一定に維持するとともに、リールへの巻取張力の大幅変動も压える構造になっている。

(5) 圧延ロール(第8・9図参照)

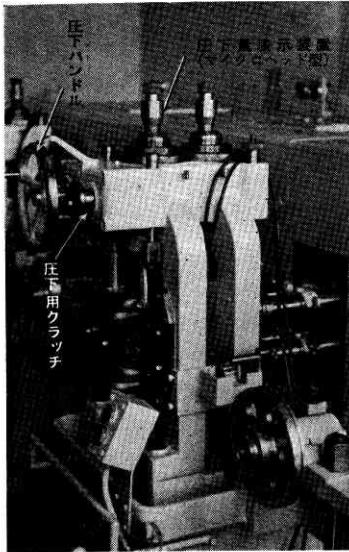
圧延機は、作業ロール径28mm、補強ロール径90mm、ロール長さ68mmの6段型式を採用した。6段型式を採用することによって、圧延中に生じる作業ロールの横方向の彎曲を防ぐことができるので、ロール径を細くすることができる。また補強ロールが片側2本あるので、圧延トルクの伝達能力を十分な大きさにできる。

材料の最大幅10mmの計画に対して、ロール直68mmはやや長すぎる感があるが、肉厚の左右の微細な調節の



第7図 巻取装置動力伝達装置

ためには、ある程度の長さが必要であり、また圧下ねじに十分な断面積を与えるためにも必要である。圧下は1個の手回しのハンドルにより行ない、クラッチを併用して、ハンドルの1回転により0.05mm 圧下する。左右を同時にでもあるいは個別にでも圧下できる。



第 8 図

ロール表面粗さおよび真円度は製品の寸法精度に直接影響するので、慎重に研摩した。その測定結果の一例は下記の通りである。(第10図参照)

- 作業ロール真円度 測定機器 Cary Optical Comparator  
測定位置第 10 図参照

測定位置	A	B	C
真円誤差	0.2 $\mu$	0.1 $\mu$	0.2 $\mu$

(1 回転中の最大最小径の差)

- 作業ロール硬度 Leitz 社 Durimet により測定  
Hv=1196
- 補強ロール真円度 測定機器 Cary Optical Comparator  
および Ship Universal measuring Machine, 測定位置第10図参照

測定位置	A	B	C	D	E	F	G
真円誤差	0.5 $\mu$	0.5 $\mu$	1.0 $\mu$	1.0 $\mu$	1.5 $\mu$	1.5 $\mu$	1.5 $\mu$

- 補強ロール硬度 Leitz Durimet により測定  
Hv=860

上記のとおりであって、作業ロールの真円度は無条件に必要な程度に入っているが、補強ロールはやや大きい。補強ロールは作業ロールに対して斜方向から力を加える位置に在るため、その真円誤差の約 70% が作業ロールの上下方向の静的な移動量となり、また後述する理由によって、実際の圧延材の肉厚の変動に影響するのは、そのまた 50~90% 程度であるから、このままでも一応製品肉厚誤差の許容値  $\pm 1\mu$  は実現し得る性質のものではあるが、なお実用に際しては、補強ロールの研摩には一層の注意を求めるともりである。

なお表面粗度は Talyer Hobbson 社製 Talysurf Model III で測定した結果、作業ロールは 0.01 $\mu$  補強ロールは 0.07 $\mu$  程度であった。

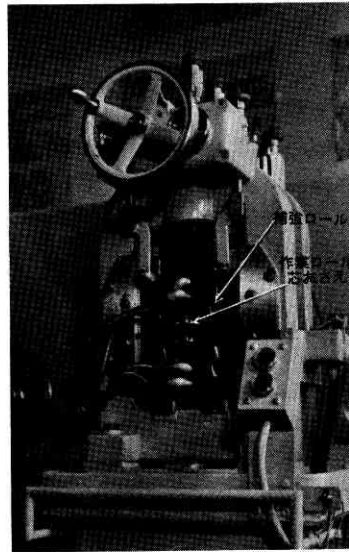
(6) 張力制御装置

張力制御装置は製作した山武ハネウエルの詳細の記事が別にあるので、要点のみを略記する。

張力は最小 4 kg, 最大 200kg の間のすべての値について

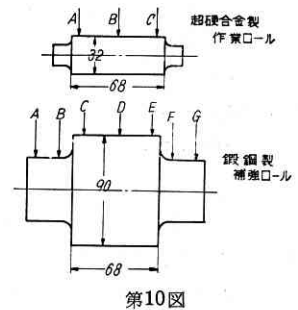
± 5% の精度で自動制御する。広幅厚肉の場合と狭幅薄肉の場合とを、同一圧延機で作業するので、他に例を見ない広範囲の調節範囲となった。

ダンサーロールに油圧ピストンで荷重を加えて、その油圧を必要な一定圧力に維持するよう



第 9 図

制御して荷重を 2×4 kg ~ 2×200kg の間の一定値に保つ。ダンサーロール油圧ピストンなどの可動部分の重量が約 14kg あって、低荷重の際には必要荷重を上回るので、ピストンには下側から空気を加えて、重さは釣り合わせてある。



第 10 図

圧力自動調整装置 (第 5 図) の張力設定ダイヤルの指針を、希望の張力値に合わせれば、ダンサーロールの位置と運動とにかかわらず張力はその値に保たれる。

(7) 速度制御装置

本項も製作者の東洋電機の記事があるので詳細は省略するが、ダンサーロールの位置を検出して、その位置を中立域に置くよう、その前段の圧延機を速度を制御する。ダンサーロールの上下の最大ストローク 300mm, 圧延速度は 0~25m/min の範囲で調節できるが、安定な定常的圧延速度は 8~25m/min である。

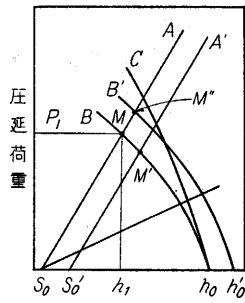
4. 圧延機の剛性に関する考察

圧延機の上下の両作業ロールで構成されるロール間隙は、材料を咬み込むと開いて、無負荷の場合よりも広くなる。すなわち圧延機ハウジング・圧下ねじ・ベアリング・ロールなどの弾性変形によって、ロール間隙が圧延荷重に伴い変化するのである。

この圧延機の場合のように、圧延後の肉厚に特別に高い精度を要求される際には、圧延機の弾性変形に伴う肉

厚変化に十分な考慮を払う必要がある。一般にロール間隙を一定に設定しておいて、材料を咬ませてロールを押し開いたときの、ロールの間隙と圧下力（あるいはロール分離力）との間には直線的な関係が成立して、第11図のA線のように表わされる。これを圧延機の弾性特性線という。

圧延される材料の側から考えれば、厚さ  $h_0$  の材料を圧延して薄くするときの圧延力（あるいはロール分離力）は、薄くするほど大きくなるから、曲線Bで表わされる。これを材料圧延の塑性特性線と呼ぶことにする。圧延中には圧延機の弾性特性と材料の塑性特性の両者を満足させねばならないから、両曲線の交点で圧延条件が決まり、その際の縦座標が圧下力P、横座標が圧延後の肉厚  $h_1$  を表わす。



□ロール間隙及び板厚  
第11図

この状態で圧延中に圧下ねじを上げてロールの設定間隙を  $S_0 \rightarrow S_0'$  に変えれば、弾性特性線が  $A' \rightarrow A$  に移るため、塑性特性線との交点は  $M' \rightarrow M$  に移り、板厚は増し圧下力は減少する。圧下ねじを下げてロールの設定間隙を減らせば、もちろん反対に板厚は減り圧下力は増大する。

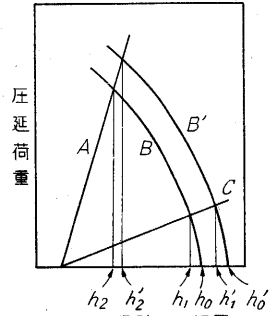
圧延機の弾性特性線はAのまま、圧延前の肉厚を増して  $h_0 \rightarrow h_0'$  になれば、塑性特性曲線は  $B \rightarrow B'$  に移り、交点は  $M' \rightarrow M''$  に移り、圧下力は増し圧延後の板厚も増す。圧延前の肉厚が減れば、上記に反対の現象が起こることはいうまでもない。曲線Cは、圧延前の板厚が  $h_0$  のままで、ロールと材料間の摩擦が増大するとか、材料に加えられた前方あるいは後方張力が減少するとか、圧延作業上不利な条件に移った場合であって、圧下力が増している。

このような特性があるので、圧延前の肉厚・張力や摩擦のような圧延作業上の要素、ロール間隙などのどの要素が変化しても、製品の肉厚は変化する。したがって、この圧延機のように、要求される肉厚精度が非常に高い場合には、圧延後の肉厚に影響する要素の変動はできる限り圧縮し、もしある程度の変動は止むを得ない場合には、その影響を最小にとどめるための組合せを考えねばならない。

この場合2種類の考え方が成立する。一つは圧延機の剛性をできる限り高くする方法であって、圧延前肉厚に変動があっても一定の肉厚の製品を出そうとするものである。他の一つの考え方は、圧延機の剛性を比較的低くして、この場合は、ロールの偏心誤差等のためロールの設定間隙に変化があっても、製品の肉厚精度におよぼす影響を少なくしようとするものである。

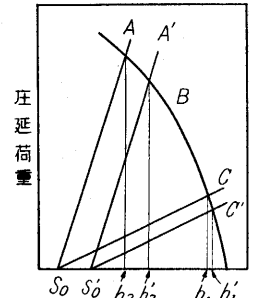
この関係は次のように説明できる。第12図において、

圧延機の剛性の高い場合の圧延機弾性特性線をA、剛性の低い場合の弾性特性線をCとすれば、圧延前肉厚が  $h_0 \rightarrow h_0'$  となり、塑性曲線が  $B \rightarrow B'$  になったとき、圧延後の肉厚変化は、ロールの剛性が高いほど小さいことは明らかである。しかし、ロールの偏心等のためにロールの設定間隙が変動する場合は、第13図に示すように、圧延機剛性の高い場合の方が圧延後の肉厚の変化は大きくなる。



□ロール間隙及び板厚  
第12図

したがって圧延機の剛性を低くすれば、ロールの偏心等の影響は軽いが、その反面なんらかの原因で一度材料に肉厚差が生じると、それを除去することができない。今回の圧延機では、ロールをはじめとして圧延機の部品の加工精度については、高い水準が期待できたので圧延機の剛性は高くして、圧延前の肉厚・摩擦条件・前方および後方張力等の諸要素の変動の影響を少なくする方針を採った。



□ロール間隙及び板厚  
第13図

すなわちロールハウジングは小型ながら鋳鋼にして、しかもその単位断面積当りの荷重は、一般の場合の1/2以下にし、圧下ねじの径を大きく、軸受ショックを密閉箱形にする等の方法を採り、作業ロールは超硬合金製にした。(1959. 8. 18)

次号予告 (12月号)

竹中二郎先生追悼記(仮題).....岡本 舜三・大井光四郎

研究解説

工業における将来性あるラジオアイソ.....加藤 正夫  
トープの利用

海外事情

アメリカにおける最近の水利用について.....安芸 皎一  
の諸問題  
ユーゴスラビアにおける国際溶接学会.....一色 貞文  
年次大会に出席して

研究速報

新潟県の関屋海岸の沿岸流に.....井口 昌平・白井 茂信  
関する模型実験 穴倉 進  
アーチダムの振動観測.....岡本 舜三・加藤 勝行  
伯野 元彦・荒川 常昭  
DOVAP レーダ用ロケットア.....黒川 兼行・長谷部 望  
ンテナの実験(その2) 立石 嘉徳  
ブドウ糖溶液の着色に対する  
オキシメチルフルフラールの.....中村 亦夫・吉弘 芳郎  
役割(その3)、(その4)  
Ni 80—Cr 20 合金の抵抗焼結第2報.....原 善四郎  
島崎 俊治