

全自動高精度圧延機

鈴木 弘

種々の原因に起因する圧延材の肉厚偏差を合理的な方法で最小におさえる“最適圧延作業計画”理論に基づいて、高精度の圧延機を製作した。なお全自動プリセット方式を圧延機にはじめて導入して、一定製品を量産することにも成功した。

1. ま え が き

通信機器用あるいは精密機器用の材料薄板には、要求される肉厚精度のきびしいものが少なくない。しかもその要求精度が逐年きびしさを増してくるので、その製造工程の中心に位する圧延技術に対する要求は次第に困難の度を加えてきた。

その結果として、圧延作業内容の理論的考察を伴わない単なる機械設計ではこの種の用途に供する圧延機の設計は無意味なものとなってきているのである。

筆者は、圧延製品に極度の高精度が要求される場合に製品の寸法誤差をあらかじめ理論的に評価し、また圧延機の仕様と圧延作業方式とを決めるための“最適圧延作業計画法”を開発したが、これは従来のいわゆる“常識設計法”では、超高精度の圧延が不可能に近い状態にあったからである。

この“最適圧延作業計画”の理論に従い圧延機の設計をして、さらに圧延作業内容を選定して、超高精度の圧延に成功した例はすでに数例報告したが^{1)~4)}、今回さらに新しい考え方を付け加えた圧延機が完成したので⁵⁾⁶⁾、これについて報告する。

この圧延機は古河電気工業 KK 日光精銅所に設置されたものであって、大洋海底ケーブル用に使用される銅のストリップの圧延を第一目的とするものであるが、1本のストリップの全長が 2000 m、厚さは 0.254 mm ± 0.003 mm である。1本のストリップについての寸法公差が 1% であって、通常材の JIS 公差 ±10% の 1/10 のきびしさであるばかりでなく、異なるコイルそれぞれの平均肉厚相互の間の寸法差を極力圧縮し、できれば皆無にして欲しいとの要求があった。しかも要求される生産量が多いため、圧延機の構造・圧延方法ともに量産に適したものでなければならない。

この要求は、圧延作業としては極度に高度の課題というべきであって、現時点でのすべての知識を総合してはじめて可能なほどのものである。したがって理論と実際の両面で十分慎重な対策を採ることにした。すなわち、理論面は筆者が担当して、製品の寸法精度を高めるために“最適圧延作業計画”理論に従い、また全製品の寸法

差を除去するためには新たな試みとして“一定パススケジュール”法を世界ではじめて導入して、圧延機と圧延作業法との基本計画を立てた。

古河電工の長年にわたる銅圧延の経験を活用して、同社において圧延機と圧延作業との具体的計画を立て、また伸銅用圧延機を多数製作した実績を持つ新潟鉄工 KK が圧延機の製作に当たり、動力および制御関係の電気機器は富士電機製造 KK が担当して、これら各種の技術が総合された。

また圧延条件をプリセットして、全自動運転できるのも他に例を見ない新設計であって、これにより前記の“一定パススケジュール”法を実現するとともに、生産性を高めることができるのも特長である。

2. 圧延機の構造概要

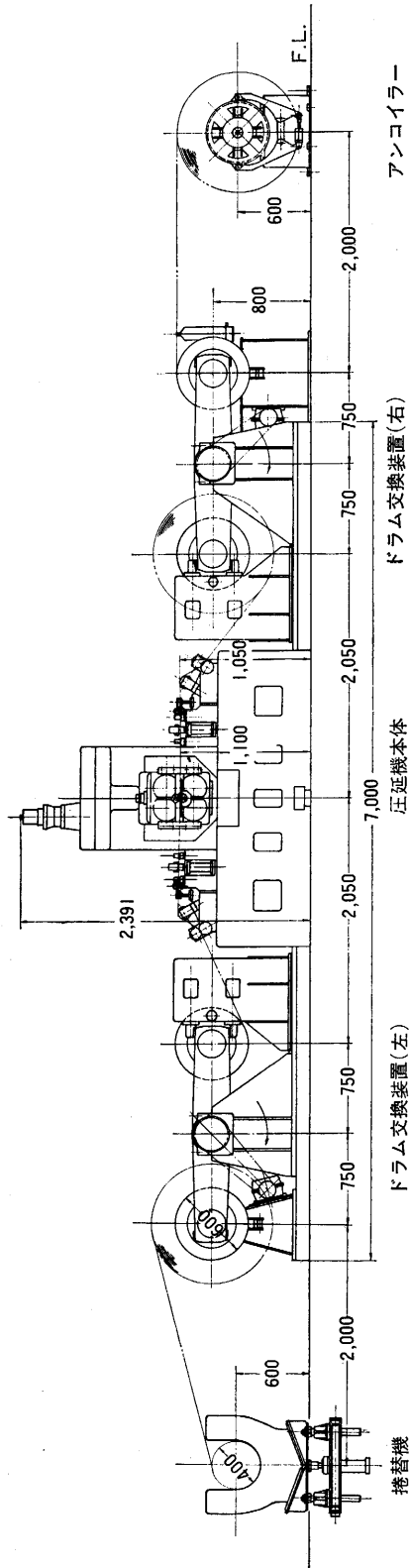
本機の主要仕様を表・1 に、全体正面図を図・1 に示す。型式はバックアップ駆動 6 段圧延機であって、そのおもな特徴を列挙すれば、1) 可逆圧延式、2) 圧下・圧延速度および前後方張力をプリセットして 7 パス連続自動圧延可能、3) 油圧パルスモータで圧下の微調節可能、4) コイル巻かえ装置付などが数えられる。

表・1 圧延機仕様

ロール寸法	ワークロール 65φ×170 バックアップロール 160φ×160
圧延荷重	最大 30 ton 常用 15 ton
圧延速度	最大 200 m/min
前・後方張力	常用 80~800 kg (変動率 ±5% 以内) 極薄材用 30~300 kg (変動率 ±20% 以内)
圧延素材	材質 電気銅 幅 標準 95 mm 最大 140 mm 厚さ 標準 1 mm 最大 1.5 mm コイル 最大重量 500 kg
仕上肉厚	標準 0.254 mm 最小 0.06 mm 肉厚精度 ±3μ (標準材において)
電動機	主モータ DC 55 kW リールモータ DC 30 kW×2

(1) 機械構造関係

圧延機剛性を大きくする目的から、ハウジングは一体構造の鋳鋼、チョックもまた前後一体構造である。ワークロールは軸受を使用しないで両側から特殊構造の押え金具で支持しているのみで交換は容易に行なわれる。バ



図・1 圧延機正面図

ックアップロールの軸受は、後に述べるように必要な圧延精度を出すためにローラベアリングを使用しないで油膜軸受を採用し、温度制御をした高圧油を強制循環させる。

圧下機構は前例のない新設計であって、左右それぞれ別の電気油圧パルスモータにより駆動する構造であり、あたえる電気パルスの数に正しく比例して上下するので、左右の圧下スクリーンをクラッチで連結する必要がなく、また任意の圧下を正しくあたえることができる。したがって電流量としてプリセットした圧下量を実現するためにきわめて有効である。このように圧下の定位置制御が行なわれたのは前例のないことで、冷間圧延機の一つの進歩をもたらしたものである。

リールの交換装置も本圧延機の特長の一つであって、これによって正味圧延時間が増して生産率が向上している。このような銅の薄い材料の圧延に際しては、コイルに折れ傷が発生するのを避けるために、圧延の際にはソリッドリールに巻取り、圧延後に巻替える必要があるが、圧延材を巻取ったリールと新しい空リールとがレボルバータイプの交換装置に装着されているのできわめて短時間で交換が完了する。

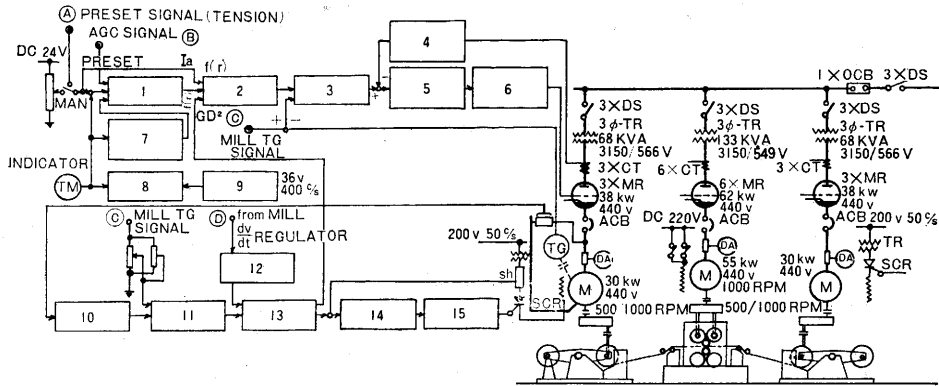
(2) 計測装置

本圧延機の設計の基本方針が、圧延条件をあらかじめ数学的に選定してその値をプリセットし、圧延中その値が正しく実現されているか否かを監視して、あやまりがあれば修正することにあるので、圧延状態を正しく把握するのは重要な条件である。圧延条件を表わすものとして最も必要なのは、圧下力・前後方張力および圧延後の材料の肉厚の3者であるから、これらはすべて計測する方針を採った。

圧下力の測定は、左右それぞれのバックアップロールの軸受ショックに加わる荷重を、線歪計式のダイナモメータで検出する。また前後方張力は、圧延機の両側のデフレクタロールに作用する荷重を線歪計式のダイナモメータで検出する。この両者は形式としては特に新しいものではないが、一般に採用されているリールモータの入力制御で張力を規定する方式に比較して精度が高い。

厚み計は差動変圧器形の滑り接触式のものを採用した。圧延速度 200 m/min の圧延機にこの形式のものを採用したのはおそらく前例がなく、新しい試みであるが、この理由は下記のとおりである。

本圧延機の要求圧延精度が高いので、厚み計の測定精度は $\pm 1 \mu$ 以内でなければならないが、接触形の既存のフライングマイクロでは、材料に接触するローラの軸受部の偏心回転に問題がある。また非接触形のX線あるいはβ線の厚み計は高価な上に要求精度を満足する見通しを持ち得なかったので、滑り接触形の差動変圧器式の厚み計を採用した。接触子は $2\phi \times 6R$ のダイヤモンド



- 1. TENSION REGULATOR
- 2. LIMITING REGU.
- 3. SPEED CONTROL
- 4. CURRENT DETECT & TRANS.
- 5. ARMATURE CURR. REG.
- 6. GRID CONTROL DEVICE
- 7. STRIP RUPTURE DETECTING DEVICE
- 8. TENSION DETECTOR
- 9. T. D. UNIT
- 10. D. C. VOLTAGE DETECTOR
- 11. EMF REGULATOR
- 12. ACC. OR RET. DETECTOR
- 13. FIELD & GD² COMP. SETTLOR
- 14. FIELD CURRENT REGU.
- 15. SCR CONTROL DEVICE

図・2 諸制御装置系統図

ドを用い、接触圧 50 g、追従可能な振動数 100 cps であり、速度 200 m/min までの範囲で滑り接触による誤差の生じないことを実験的に確かめた上で採用した。

(3) 巻取張力制御

本圧延機では、製品の寸法精度を要求値に入れるため、“最適圧延作業計画”の考え方により張力の許容変動値を ±5% と決めた。しかも張力設定範囲は最大最小値の比が 10 : 1 の広範囲であるから、従来のようなリールモータの定入力制御では実現できない。

本圧延機では、デフレクターロール部で材料にかかる実張力を検出し、張力設定値との偏差が張力調整器にあたえられ、速度調節器、電機子電流調節器などの制御部をへて位相制御装置により水銀整流器を制御して、リールモータの電気子電流の調整を行ない、張力を正しい値に保つ。この方法で、張力変動が原因となり製品の肉厚精度が要求公差を越えることが防止できた。

(4) プリセット制御

数多く圧延される製品の肉厚に差があってはならないという困難な要求を満たすために、本圧延機では前述のように“一定パススケジュール”圧延法を採用した。本圧延機では一本のストリップに7パスの圧延を継続して、肉厚を順次薄くして製品を製造するが、次々と圧延するすべてストリップを同一経路を経て圧延するために、各パスごとの圧下量・前後方張力および速度をプリセットする装置を備えている。この装置もまた従来の圧延機にまったく前例を見ないものであって、この装置を取りつけて7回のパスを正しく再現することができたのであって、1台の圧延機をもって、一定条件に設定された7台の圧延機で材料を順次圧延するのに相当する結果が得られたといえることができる。

本圧延機では、スクリーダウン機構に電気油圧モータを採用して定位置制御が可能になったことと、各調節機器が全電子制御装置であるために、プリセットが簡単に採用できたのである。

A. スクリューダウン位置のプリセット

第1～第7パスのすべてについて、各パスの圧下位置は、他の圧延条件すなわち前後方張力・圧延速度および厚み計基準値とともに、プリセット盤に10進法に従いプリセットダイヤルにより設定する。

設定範囲	0.000～9.999 mm
最小設定値	0.001 mm
現在位置記憶範囲	0.000～19.999 mm
圧下速度	0.1 mm/sec

B. 前後方張力および圧延速度のプリセット

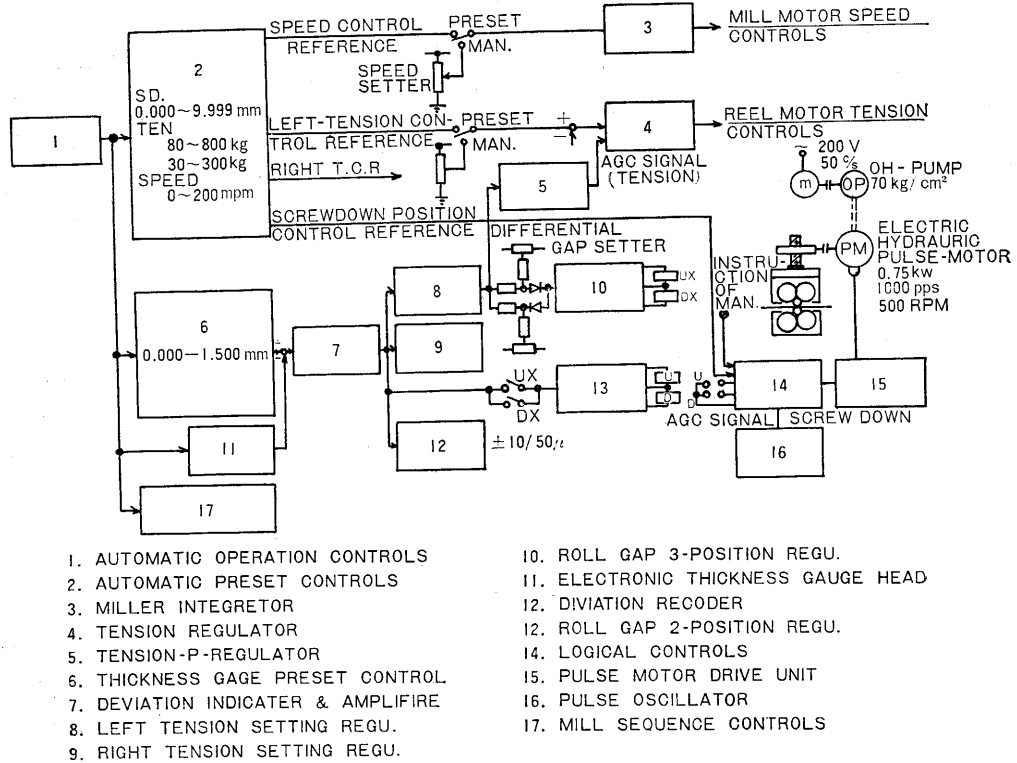
前後方張力および圧延速度はプリセット盤上のポテンシオメータで設定する。張力設定は 800～80 kg と 300～30 kg との2段に分かれ、いずれの場合にもまず設定値の 50% に相当する張力が発生し、次いで起動結合によって全張力が発生して、切換時のショックを防止する考慮が払われている。

また圧延速度の加減時間は 10～60 秒の範囲調節可能である。

(5) 自動板厚制御

本圧延機ではスクリーダウンのプリセットを行ない圧延製品肉厚が一定になるようにしてあるが、圧延中のロールその他の多少の熱膨張は避けられず、このために製品肉厚の変化が生じる可能性がある。また増減速時には肉厚変化が生じるので、これらの悪影響を除去する意味で肉厚の自動制御を行なっている。

肉厚の制御は、圧下量の制御と張力の制御の両者を併



図・3 プリセットおよび自動制御系統図

用し、肉厚偏差 $\pm 2 \mu$ 以上の場合は圧下調整により、それ以下の場合は前後方張力により行なう。

なおバックアップロール軸受の油膜の厚さが製品肉厚に影響し、しかも油膜の厚さは圧延速度の影響を受けるので、油膜軸受の安定し始める 20~60 m/min の速度に達してはじめて圧下の制御回路が作動を開始して板厚の粗調節を行ない、次に 60~200 m/min の任意の速度で張力付加制御回路が動作して、肉厚精度を許容範囲に入れる。

3. 圧延精度向上のための対策

前述のように、1本の材料が圧延後全長 2000 m にも達し、その全長にわたりほぼ $\pm 1\%$ の肉厚精度が要求され、しかも数千本圧延される全製品の平均肉厚の間の差をほとんどないまでに揃える、という困難な問題である。したがってこれを実現するためには、1本の製品の全長にわたる肉厚精度を高めるために“最適圧延作業計画”理論に従い、また異なるコイル間の肉厚差をなくするために“一定パススケジール”法を新たに導入したが、この考え方の概要と、それに従い採用された圧延機の設計および圧延作業の諸数値について簡単に述べる。

(1) “最適圧延作業計画”理論

圧延製品の長さ方向の肉厚変化を起こす原因は多数あるが、これを大別すると次の3種類に分類され、すべての原因はこの3者のいずれかに属する。

- a 素材の肉厚・幅などの寸法および機械的性質の不均一
- b 圧延中のロール間隙の変動
- c 圧延作業条件の変化

この3者は、aは素材が与えられれば定まり、bは主として圧延機の設計と製作とにより定まり、cは使用条件により定まるから、いわば異なる時期に異なる立場の関係者によりこれらが決定して、しかもそれらがすべて製品の肉厚精度に影響を及ぼすのである。

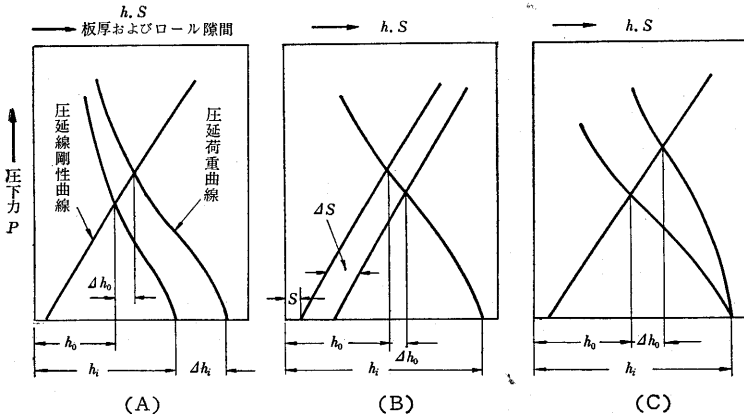
したがって、これら3者の中のいずれか一つの影響が圧倒的に大きければ、残りの2条件が圧延精度を高めるために好ましい状態に整備されていても無意味である。特に要求される圧延精度がきわめてきびしい場合には、3種類の原因に起因する肉厚誤差を等しくし、しかもその値を最小におさえることが必要である。これを求めるのが筆者の求めた“最適圧延作業計画”理論である。

従来は高精度の圧延の要求される場合には、これらの3種類の全部に属する原因すべてについて一様に均一化の努力を払ったのであるが、最適圧延作業計画理論では、個々の原因が製品の肉厚精度に及ぼす影響を数値的に評価して、最も大きな影響を及ぼす原因については事情の許す範囲内ではその原因を単独に採り上げてこれを圧縮する努力をし、それでもなお圧延精度が不十分な場合には、圧延作業全体に影響する“圧延精度パラメータ”(この場合は圧延機剛性)を変えて、この原因が及ぼす影響

を縮小する方法を採る。

この考え方が“最適圧延作業計画”であって、製品の肉厚精度に影響する多数の原因のすべてについて不必要に改善の努力を払う必要がないので、経済的であるばかりでなく、精度を高める効果はかえって大きい。既設の圧延機による圧延作業にも適用して効果を期待できるが、特定作業を目的として圧延機を新しく設計製作する場合にはその効果は一層大きい。

“最適圧延作業計画”の基本理論は次のとおりである。



図・4

圧延素材の肉厚が変動した際には図・4(A)のようになる。すなわち素材肉厚に $\Delta h_i/h_i$ の変化があると製品肉厚は $\Delta h_o/h_o$ の変動を生じ、その間には次の関係がある。

$$\gamma_1 = \Delta h_o/h_o = \Delta h_i/h_i \cdot \Phi_1 (K \cdot M \cdot h_i \cdot S) \quad (1)$$

K は圧延機剛性曲線の形を表すパラメータ、普通は圧延機剛性曲線は一定傾角の直線としてあつかうので K は圧延機について一定の定数とする。 M は圧延荷重曲線の形を決めるパラメータである。

$$\Phi_1 \cong 1$$

に従い、 $\Delta h_o/h_o \cong \Delta h_i/h_i$

となり、 Φ_1 の値により製品の肉厚変動率は素材のそれよりも拡大される場合もあれば、縮小される場合もある。

ロール隙間が変動した場合には、図・4(B)のようになり、同様に

$$\gamma_2 = \Delta h_o/h_o = \Delta S/S \cdot \Phi_2 (K \cdot M \cdot h_i \cdot S) \quad (2)$$

また圧延中に、圧延材に加える張力が変動、あるいは圧延速度・温度・潤滑材料の質および量の変化などの圧延作業状態の変化が生じた際には、図・4(C)のような関係になり、

$$\gamma_3 = \Delta h_o/h_o = \Delta U/U \cdot \Phi_3 (K \cdot M \cdot h_i \cdot S) \quad (3)$$

の関係が得られる。ただし U は任意の圧延作業要素を示す。

圧延製品の肉厚精度を高めるためには、上記の(1)～(3)式のすべてについて $\Delta h_o/h_o \rightarrow 0$ の方向の努力を払うべきであって、このためには $\Phi_1 \cdot \Phi_2 \cdot \Phi_3$ のすべての値が

$$\Phi \ll 1$$

であることが好ましい。 Φ の値については従来ほとんど関心が払われていないが、目的とする圧延作業範囲が与えられれば圧延理論により求められる。

圧延機剛性 K が Φ に及ぼす影響は大きく、しかもその影響は特異なものがある。すなわち

$$\begin{aligned} K \rightarrow \text{大} & \quad \Phi_1 \rightarrow \text{小} \\ & \quad \Phi_2 \rightarrow \text{大} \\ & \quad \Phi_3 \rightarrow \text{小} \end{aligned}$$

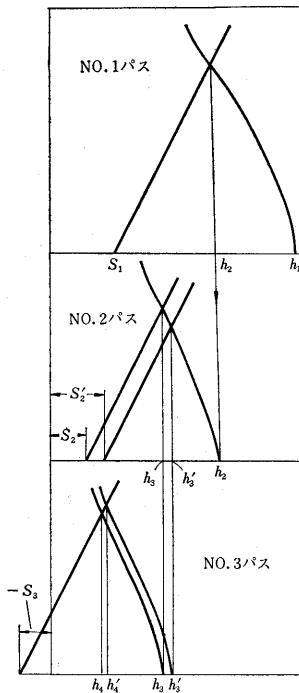
しかも、 K の値は圧延機の構造寸法によって相当の差があるばかりでなく、設計に配慮すれば大幅の変化も可能である。

本圧延機のように極度の高精度圧延を要求される場合には、あらかじめ素材条件の変動率 $\Delta h_i/h_i$ 、ロール隙間変動率 $\Delta S/S$ 、圧延条件変動率 $\Delta U/U$ を調査あるいは推計して求めて、次に K の値を変化して3式から得られる γ の値の内最大のものの値を低くするようにする。 K の最適値は目下のところ試算法で求める。

(2) 一定パススケジュール法

本圧延機で標準作業を行なう際には、素材ストリップから7パスの圧延を行ない、そのたびに圧下スクリーンを順次下げて肉厚を減少して行く。従来の圧延機では圧下スクリーンの降下は、人手による圧下モータの運転停止により行なうため、

定位置への圧下が困難であって、多数の材料を圧延する際の圧下スクリーン位置を一致させることは不可能であった。仮に最終パスのみは特別な方法によって圧下を一定値に揃えることができたとしても、途中パスにおいてもすべて圧下位置を一定に揃えることはできない。図・5は3パスで圧延する際に、第1および第3パスでは圧下位置が正しく、第2パスのみ圧下位置が本来の位置 S_2 から S_2' に移っている場合に、仕上り肉厚に $(h_4' - h_4)$



図・5

の誤差が生じることを示すものであるが、本圧延機では中間パスが5パスあるのでこのような誤差の生じるチャンスが多い。

したがって本圧延機では前述のように電気油圧パルスモータを新たに採用して、正確に希望位置に圧下スクリーを停めることをまず可能にして、次にプリセット装置の記憶によって同じ圧下量を再現して、すべての製品を等しい肉厚に仕上げようとするものである。

(3) “最適圧延作業計画”の関連諸数値

A. 圧延機剛性 圧下スクリーの下に剛性の異なるブロックを挿入して、その部分の弾性歪によって、圧延機全体の剛性を調節しうる構造にし、他の部分は剛性をできる限り高める方針で設計した。その結果 $K=60 t/mm$ になる見込であって、前記の

$$\Delta h_0/h_0 = \Delta h_i/h_i \cdot \Phi_1$$

における Φ_1 の値は 1 以下となり、素材肉厚には 25μ の肉厚変動があるが 1 パス後には 10μ に、さらに最終パス後には 0.3μ 以下におさまるはずである。

B. ロール隙間 本圧延機ではロールが6本あり、それらの偏心回転はすべてロール隙間寸法に影響を及ぼす。各ロールの偏心位相の相対的關係によりロール隙間の変動値が変わることはいうまでもない。最終パスの圧延をする場合には、ロール隙間の変動は $\pm 3 \mu$ 以下におさえる必要があり、各ロールの偏心位相角が平均的に分布するものとすれば、この際の個々のロールの偏心許容量は $\pm 2 \mu$ である。

バックアップロールの軸受にローラ軸受を使用するとすれば、この程度の大きさでは 5μ 以上の偏心が避けられないので油膜軸受を採用した。油膜軸受では、速度を増すに従い油膜が厚くなり、それにつれてロール隙間が狭くなる。したがって起動停止の低速時には圧延肉厚が変化するが、このためのオフゲージ部の長さは全長の 1% 程度であって問題とする必要はない。

C 前後方張力 前後方張力は圧延肉厚に大きな影響を及ぼすので、十分に検討して置く必要がある。張力が設定値から $\pm 5\%$ の変化をした場合に生じる肉厚変化を計算した結果を表・2 に示す。肉厚の変動率は最大 1% 程度であって、許容しうる範囲に入っているから、張力の許容変動率は 5% とする。

表・2 張力の変化 (5%) が圧延肉厚に及ぼす影響

張力の強さ (変形抵抗に対し)	圧下力 P(t)		肉厚変動 $\pm \Delta h$ (mm)		肉厚変動率 $\pm \Delta h/h$	
	20%	30%	20%	30%	20%	30%
圧延スケジュール						
mm \rightarrow mm 1 \rightarrow 0.8	8.0	7.0	0.0017	0.0025	0.002	0.003
mm \rightarrow mm 0.32 \rightarrow 0.254	8.4	7.1	0.0018	0.0025	0.007	0.01

D 圧延機剛性値の選定 圧延精度に影響を及ぼす諸原因のうち、代表的なもののみについて変動値を示した。上記の数値を一覧すると、ロールの偏心回転によるロール隙間の変動が最も影響が大きく、したがってロールの真円度を要求値内に確保するのが困難と考えられる。

ロール偏心の影響を軽減するためには、圧延機剛性値を縮小することが効果があることを前述したが、その結果として素材の寸法精度の影響・張力などの圧延条件の変化の影響などは強くなるのは止むをえない。しかも素材側や圧延作業に起因する影響は 2 種類以上のものが同時に重なり現われる可能性があるため、余裕を残しておかねばならない。このように考慮から圧延機剛性の設計目標値は $60 t/mm$ とした。

4. 圧延機完成後の実測諸特性

圧延機の製作完成後の圧延作業において、当初の計画を満足する性能を出しえたので、おもな結果を示す。

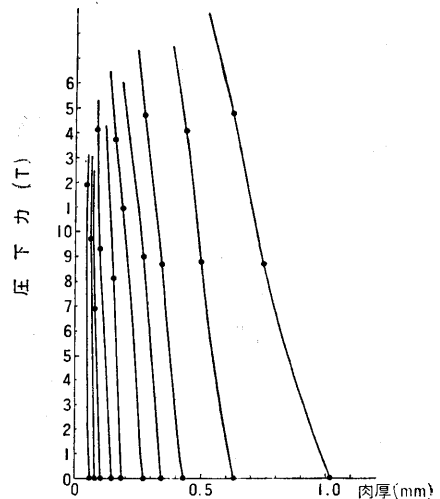
(1) 圧延荷重曲線および圧延機剛性曲線

圧延荷重曲線と圧延機剛性曲線は、最適圧延作業計画に従い圧延機を設計する際の基本資料であるから、当初に推計した値が正しいか否かを検討することは重要である。図・5 および図・6 にその実測値を示す。

剛性曲線において圧下力 $7 \sim 8 t$ 以下のいわゆるすそ野部分以外では、剛性値は $70 t/mm$ に近い値を示し、当初の見込を少し上まわり、圧延機各部件の工作精度の良好なことを示している。

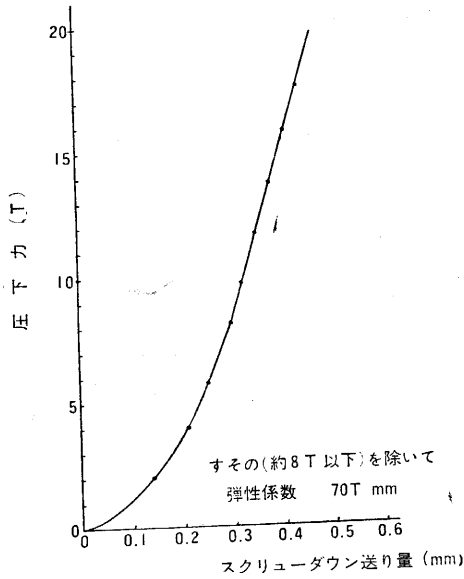
(2) 肉厚変動率の修正効果

前記 (1) 式における Φ_1 の値が 1.0 以下となって、圧延を繰り返すたびごとに肉厚変動率が減少することが設計の目的の一つである。これが実現していることが



条件：素材 銅 1.0×140mm
圧延速度 100m/min
張力 耐力の20%

図・6 圧延荷重曲線



図・7 圧延機剛性実測曲線

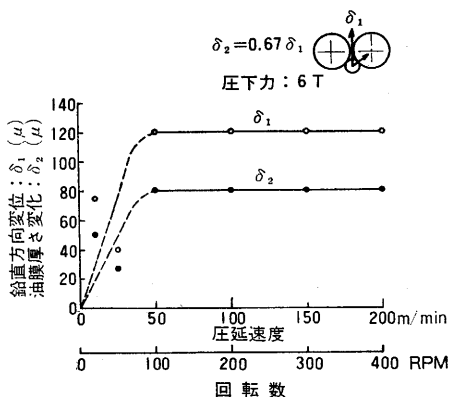
表・3 肉厚変動率の修正効果

パス番号	入口肉厚 mm	出口肉厚 mm	肉厚変動 μ	肉厚変動率 %	修正効果	圧下力 t
1	1.0	0.8	4.5~5.5	0.56~0.69		7
2	0.8	0.6	3.3~3.9	0.55~0.65	1 : 1.06	10.4
3	0.6	0.45	2.3~2.8	0.51~0.62	1 : 1.05	10
4	0.45	0.32	0.6~1.0	0.19~0.31	1 : 2.0	11
5	0.32	0.254	0.3~0.5	0.12~0.2	1 : 1.55	7

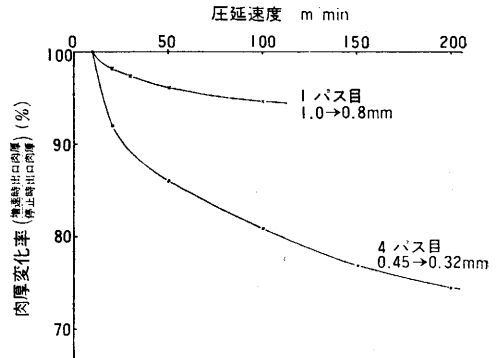
表・3 の圧延実験により立証されている。

(3) 圧延速度が肉厚に及ぼす影響

圧延速度を増すに従って、ロールと材料間の摩擦係数が減少して、この結果圧延肉厚が減少することは一般に知られているが、本圧延機においてもその傾向が現われることが予想される。また本圧延機では油膜軸受を使用しているため、増速するに従って油膜の厚さが増して、これも肉厚を減少させる傾向が現われるはずである。



図・8 圧延速度が油膜厚さに及ぼす影響



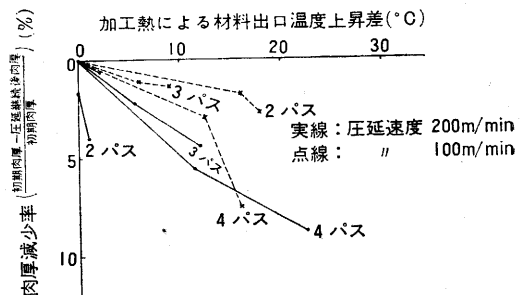
図・9 圧延速度が肉厚に及ぼす影響

油膜厚さの変化を直接測ることは困難が多いので、次の方法で間接的に油膜厚さを推定した。圧延速度を段階的に増速して、各速度において圧下力を一定に保つよう圧下スクリューを引上げ、その移動量をもって油膜厚さとした。結果は図・7 に示すとおりであって、50 m/min に達するまでは油膜厚さは増すがそれ以後は一定である。

図・9 は圧延速度を上げて行くときの肉厚の減少を示すものであって、50 m/min までの肉厚の急変化は軸受油膜の厚さの変化が主原因であるが、ロールと材料間の潤滑条件の変化の影響が予想されたとおり全速度領域にわたり現われている。

(4) 圧延温度上昇による肉厚変化

本圧延機では多量の圧延油をロールに注いでいるが、圧延を継続すれば圧延機の温度上昇が避けられないのは一般の圧延機と同様である。そのためにロールの熱膨張が生じて肉厚が減少する(図・10)。



図・10 圧延材出口温度と肉厚との関係

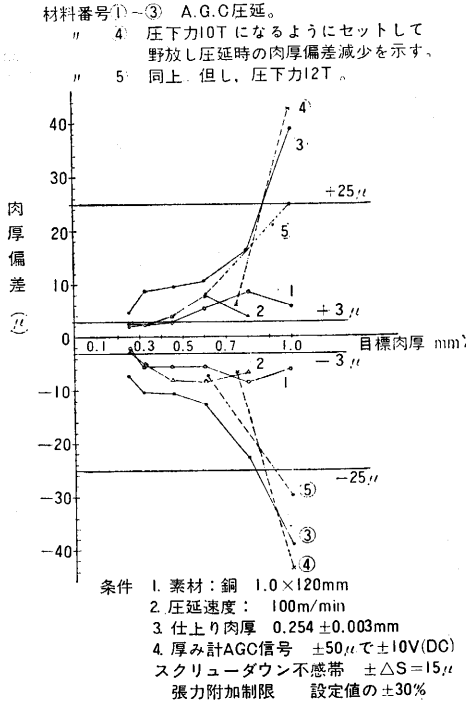
(5) 圧延精度

前記のように、圧延速度・温度などにより肉厚はかなり大幅に変化する。しかしその変化は単調でしかも緩慢であるから、自動制御諸装置が処期の性能を発揮していれば十分避けられる。

自動制御装置については、以下の数字が確認され、満すべきものであった。すなわち、速度制御は速度の設定および制御の両精度とも $\pm 1\%$ 以内、200 m/min ま

での増速 10 秒。張力制御は、圧延速度 40 m/min 以上では精度 $\pm 5\%$ を満足していた。

また肉厚の自動制御は図・11 に示すとおり、良好な安定性を示し、最後パスでは要求される公差内におさまっている。なお多数の製品の平均肉厚間の差は検出しよう程度のもは出していない。



図・11 圧延材の肉厚偏差

5. ま と め

以上述べたように、本圧延機では当初目的とした大洋

ケーブル用の銅条 (肉厚 0.254 mm, 肉厚精度 $\pm 3\mu$, 長さ 2000 m) の高精度の圧延に成功し、しかも量産方式で生産したすべての製品の厚さが揃うという画期的な成果を得た。

“最適圧延作業計画”の考え方で精度を確保し、“一定パススケジュール”の考え方で全製品を揃えることを根本方針とし、圧延中の状態を一定に保つために自動制御を採用し、またプリセットにより“一定パススケジュール”を実現したことが、この成功の第1歩であるが、古河電気工業日光精銅所が銅の圧延に関する過去の長期間の蓄積技術を注入して、設計・実験などに努力されたことに負うところが大きい。本編に掲げた諸測定結果もすべて同所において行なわれた実験から得られたものである。

すぐれた生産技術を足場として、新しい理論的構想を導入し圧延機がさらに新しい生産分野に進出して成果をあげることを期待している。(1966年9月13日受理)

文 献

- 1) 鈴木弘外, 精密圧延機, 生産研究, 11, 11, (1959・11)
- 2) 鈴木弘, 精密機械, 26, 10, (1960・10)
- 3) 鈴木弘外, 極薄銅テープ圧延機, 生産研究, 13, 12, (1961・12)
- 4) H. Suzuki, T. Furukawa & K. Kawamoto, High Accuracy Mill for Cold Rolling Copper Foil, Sumitomo Electrical Review, No. 2, (1963・7)
- 5) 鈴木弘, 吉田浩, 南浦晃, 高村啓二, 全自動高精度6段圧延機(第1報), 古河電工時報, No. 38, (1965・6)
- 6) 鈴木弘, 吉田浩, 南浦晃, 外村高志, 三沢茂男, 全自動高精度6段圧延機(第2報), 古河電工時報, No. 40, (1965・12)

東京大学生産技術研究所報告刊行予告

第 17 卷 第 1 号

山下 忠・森 政 弘 著

粉体流量の制御に関する基礎的研究

(Fundamental Approaches to Control of Powder Flows)

今日、粉体と無関係な工業はない、といえるほどの状況であるにもかかわらず、粉体流量の自動制御は、ほとんど満足に行なわれていない。

著者の論文は、重要であるにもかかわらず今日なお未開拓であるこの粉体流量の制御に関し、基礎的なデータを求め、かつ新しい具体的な方法を提案したものである。すなわち粉体の流出静特性ならびに動特性を明らかにし、また粉体流量の調節を円滑に行なうには粉体の流動性を向上させるべきであるとの論拠をもとに、エアスライドを操作部とする粉体流量制御装置を新しく考案し、かつその設計基礎資料をはじめこの研究に付随して得られた諸結果とともに二十数項目にわたる制御工学ならびに粉体工学への有力な新見を得ている。(1966年11月末発行予定)