

東洋アルミニウム株式会社八尾工場納

## 高速四重アルミ箔圧延設備

High Speed 4-H Aluminium Foil Mill Equipment for Toyo Aluminium Co., Ltd.

梶原利幸\*  
Toshiyuki Kajiwara立石貞夫\*  
Sadao Tateishi加藤春雄\*  
Haruo Katō

## 内 容 梗 概

1960年3月、東洋アルミニウム株式会社八尾工場に納入した箔圧延設備は、日立製作所として第1号機であるばかりでなく、高速広幅箔圧延設備としては国産第1号製品であるが、好調なスタートで営業運転に入った。

箔圧延機は、極薄のアルミ箔を圧延するため、機械品、電気品とも、設計上細心の注意を必要とすることはもちろん、両者間の密接な連携が必須の条件である。これら機械品、電気品がいずれも同一工場設計製作されたという点において、特に大きな意義がある。本文では本設備の設計概要、仕様および試験結果などを紹介する。

## 1. 緒 言

軟鋼ストリップ圧延の高速化、広幅化および自動化が急速な進歩を遂げている一方、アルミ箔圧延に関する数年前までのわが国の実情は、二重圧延機を用い精々毎分数十米の速度で生産しているに過ぎなかった。これは軟鋼ストリップに比し、アルミ箔ははるかにやわらかい圧延材であることと製品の厚みが格段に薄いため、しわ発生や絞り込みを防ぎしかも切断しないよう圧延するには、きわめて高度の技術と経験を必要としたためである。

しかるに、アルミ箔の需要の急増とともに、箔圧延の高速化、広幅化が研究され、わが国においてもここ数年の間に最高圧延速度360~460m/minを有する箔圧延機が5台稼働に入っており、今回日立製作所が製作納入したものは、これらよりはるかに高速の916m/minの圧延速度を有するものである。

この高速化に伴う困難性は、主として圧延による発熱の問題と張力制御の問題にある。前者は温度変化により生ずる圧延状況の変化に対して必要な調整が迅速に行われねばならないし、後者は、広い張力範囲において正確に所定の張力が保持されねばならない。

以下わが国における最高速広幅箔圧延機第一号機としての設計の概要について報告する。

## 2. 機 械 設 備

第1図は今回納入せる東洋アルミ納アルミ箔圧延機の外観図、第2図は本設備の写真であるが以下にその概要を記す。

## 2.1 おもな仕様

圧延機	230/535×1,220l 四重, 非逆転式
作業ロール	230mmφ×1,220mm l
補強ロール	535mmφ×1,220mm l
圧延速度	0~458~916 m/min

圧延材	2Sおよび3S Al 最大幅 1,090 mm
最小仕上厚	5μ (重合圧延)
コイル重量最大	1,000 kg
主電動機	DC 300 kW, 0~650~1,300 rpm~1台
巻出電動機	DC 37 kW, 0~300~1,000 rpm~1台 DC 19 kW, 0~400~1,440 rpm~1台
巻取電動機	DC 37 kW, 0~300~1,000 rpm~1台 DC 19 kW, 0~400~1,440 rpm~1台

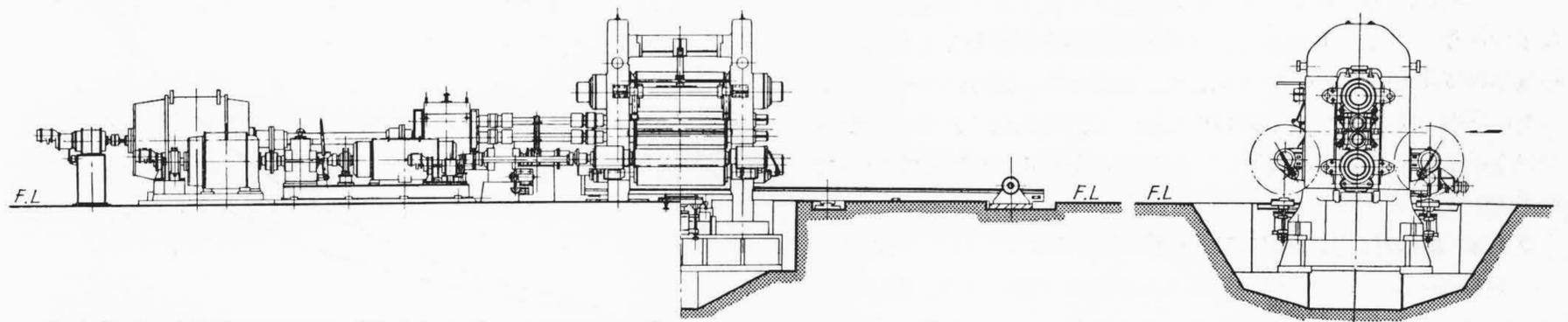
## 2.2 本設備の特長

## 2.2.1 油圧式圧下方式

箔圧延機以外の冷延用圧延機は、ほとんどが電動圧下式であり、箔圧延機には電動式のものと同様の油圧式のもの2種が現在稼働しているが、下記のような種々の利点をもつ油圧式を採用した。

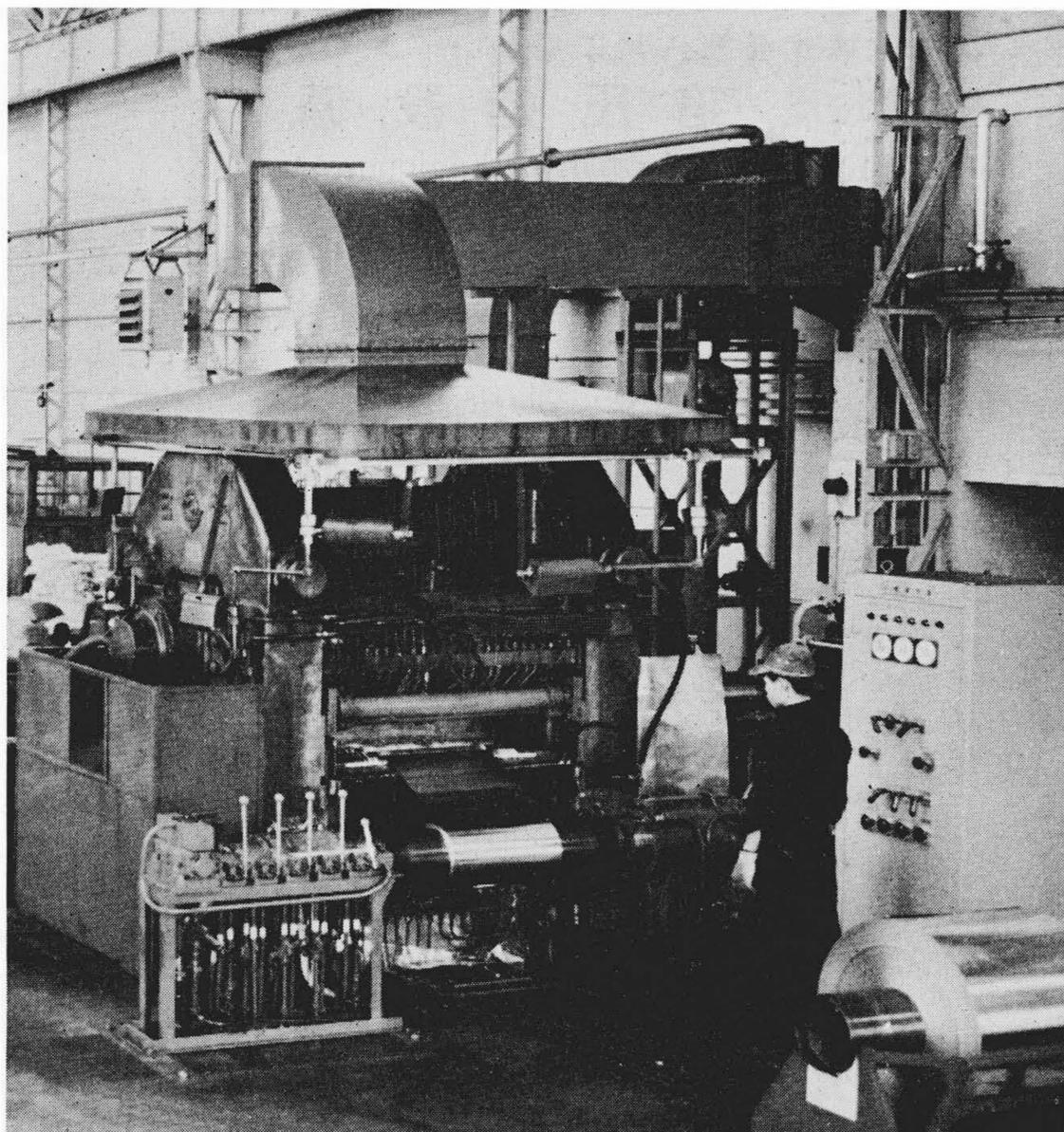
- (a) 複雑な電動圧下装置がなくなるため、機械が簡単になる。
- (b) 圧延スタート後、箔の圧延状態をみながら急速に圧下調整を行う必要があるが、電動圧下式は慣性などのため、時間的遅れがあるが、油圧式はシリンダ内へ油を給排すればただちに圧力が昇降するので、圧下調整が迅速にできる。
- (c) 電動圧下よりもロール圧下速度が速いため、ロール組替え時間が少なくて済む。
- (d) 圧力計により圧延圧力がわかるので、特別の圧延圧力計を設ける必要がない。
- (e) 箔圧延機では、通板前に作業ロール間隙を設ける必要がないので、油圧式でも昇降ロールの左右の平行度は問題なく、また圧下ネジのピッチ誤差による左右圧下量の狂いから解放される。

なお油圧式では圧力の変動は厳に避けるべきで、油の漏えい防止に万全を期する一方特殊のバルブを用いて圧力変動が生じないようにした。



第1図 全体配置図

\* 日立製作所日立工場



第2図 圧延中の四重箔圧延機(入口側)

2.2.2 ロールクラウン調整方法

圧延状況に微妙な影響を与えるロールクラウンは圧延開始後は圧延速度、圧延開始後の時間、圧下量、圧延圧力およびロールクーラントの温度および量などの関数と考えられ、これらの変化に応じて最適のロールクラウンに常に保持しておく必要がある。これに対処するため、本圧延機においては次の方法がとられている。

- (a) 油圧圧下の圧力は左右別個に任意に調整できる。
- (b) 特殊な油圧調整装置によりロールクラウンを適宜変更しうる。
- (c) ロールクーラントは各ノズルからの噴出量を操作パネルのところで任意に調整できるようにしてある。

2.2.3 各種油の選択

ミルオイルとしては、X-41(40 SSU, 100°F)を用いている。これはガソリンに似た性質を有し、きわめて粘度が低いので、ほかの高粘度油の混入は局部的圧延条件の変化をきたし、箔切れや、絞り込みの原因となる。このために、モーゴイルベアリング以外のロールスタンド回りに使用する油をミルオイルと同種のものに統一することにより異なった目的の作動油などがたとえまじることがあっても支障ないようにした。補強ロール用のベアリングはモーゴイルベアリングを用いたため、これのみはミルオイルを使うわけにはいかなかったが、これは組み替えひん度が少ないので実害はない。

2.2.4 箔切れおよび絞り込み防止

材料がやわらかくかつ製品厚みがきわめて薄いので、箔切れ、絞り込みおよびしわ発生が極度に起りやすい。これを防止するため、次の方法が講じられている。

- (a) ミル出入口にそれぞれブライドルローラおよびデフレクト

ローラが設けてあり、これらは通板作業に便利なように油圧作動でき、かつ位置調整が可能にしてある。

- (b) 巻出機は、圧延状況によってコイルのセンタリングを自由に行いうるようになっており、絞り込みを防止する。
- (c) リールとミル間の距離を極力近づけた構造とし、圧延操作を容易にするとともに箔圧延の安定を計ってある。
- (d) 箔をスプールに緊密に巻きつけ、箔のしわをのぼし、つやを出すためのアイロニングローラは、コイル径の変化があっても常に最適の接触点を保ちうるようにしてある。
- (e) 前後面ストリップ張力の精度を保ち、大幅な張力調整を行いうるよう巻き出しおよび巻取用電動機は大小2台に切換えて使用され、かつ減速機および巻取り巻出機の慣性および機械損失は極度に切りつめられている。

2.3 箔圧延の特性についての二、三の考察  
箔の圧延は圧延材がきわめて薄いこと、圧下率がストリップ圧延に比し大きいことが大きな特長で、このため次のようなことを考慮して設計する必要がある。

2.3.1 先進率が大きいこと

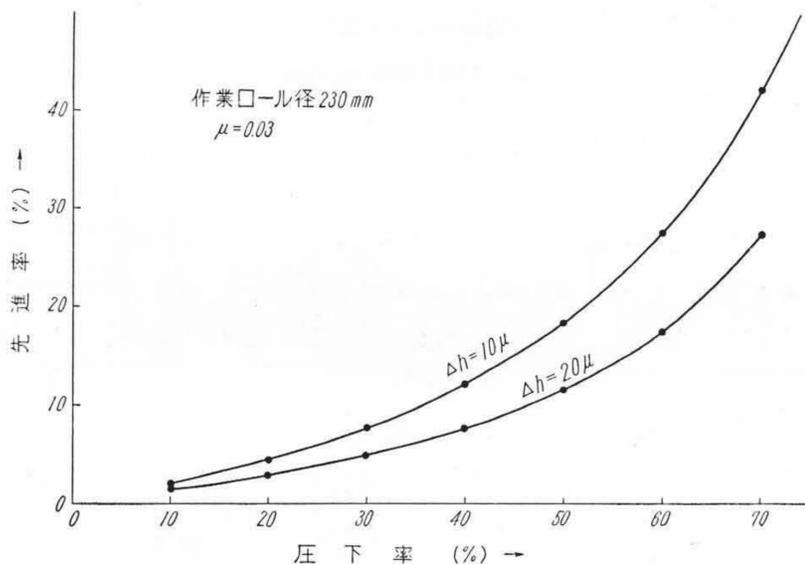
圧延理論において用いられる最も単純化した仮定を前提とすれば前後面張力が等しい場合の先進率は次式で計算される。

$$f = \frac{\gamma}{4(1-\gamma)} \left( 1 - \frac{\sqrt{\Delta h/R}}{2\mu} \right)^2 \dots\dots\dots (1)$$

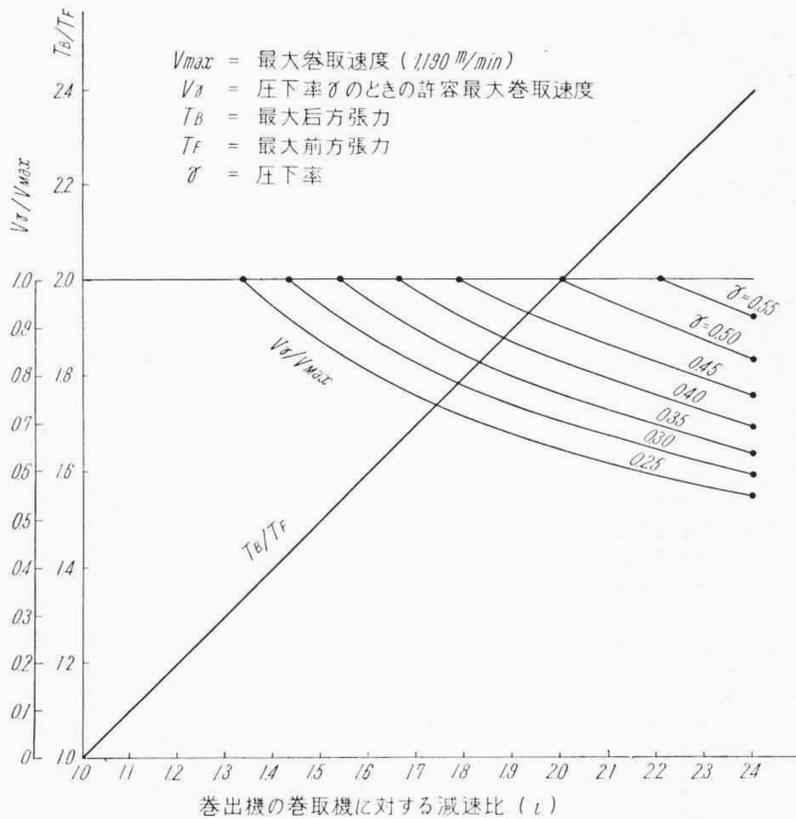
- f: 先進率
- $\gamma$ : 圧下率
- $\mu$ : 圧延時における箔とロール間の摩擦係数
- $\Delta h$ : 圧下量 mm
- R: 作業ロール半径 mm

いま一つの計算例を第3図に示す。

実際には作業ロールと箔との接触部は大きなロールフラットニングを生じており、これは先進率を大きくする方向に作用し、ま



第3図 圧下率と先進率の関係



第4図 巻取機の減速比選定曲線

た後面張力を前面張力より大きくしているのはこれは先進率を小さくする方向に作用する。これらの組み合わせられた結果が実際の先進率を決定するもので、これらを見込むと先進率は最大30%にとる必要がある。

2.3.2 圧下率大きく一方向圧延のこと

箔ミルでは一方向圧延を行うので巻取側と巻出側では圧下率に応じて常に速度差があるが、両者の速度比は慎重に決定されねばならない。

すなわち両者の速度比を大きく設定すると同一出力の巻出用電動機においてストリップ張力を大きく取れる反面、圧下率の小さい場合巻出電動機がオーバースピードとなるため、圧延速度があげられぬという事態を生ずる。このため必要な張力、圧延速度、最もよくとられる圧下率などを十分勘案の上、速度比を決定しなければならない。

第4図は巻出し、巻取りの電動機に同一仕様のものを用いて巻出側に減速機を設ける場合、減速比に応じて各圧下率に対する許容最大圧延速度、およびとりうる後方張力の最大値を示す。

3. 電気設備

3.1 電気品に対する要求

アルミ箔圧延機用電気品は、本質的には一般の四重可逆冷間圧延機または調質圧延機の電気品と同一で、駆動電動機の構成、制御技術など共通した点が多い。しかし、一步詳しく立入ってみると次に述べるようなアルミ箔圧延機特有の種々の要求があり、これらに対する慎重な考慮を怠ると箔切れ、オフゲージなどのため満足な運転が不可能となる。

3.1.1 広範囲かつ精密な張力制御

アルミ箔の圧延は全圧下率がきわめて大きいことが著しい特長の一つであり、したがって圧延する板厚が広範囲に変化するのので全張力もこれにしたがって広範囲に制御できねばならない。さらに板幅の変化を考慮に入れると張力制御としてはさらに大きな範囲に対して計画しなければならないことになる。

次に最終パス付近では5~10μていどの極薄である上に、圧延に必要な張力も大きくなるため、箔切れを防ぐためにも、また板厚の変動を防ぐためにも、張力制御はとくに厳密さを要求される。

制御誤差のおもなものは、機械損失、慣性トルクの補償の不備であるが、このほかにも張力電流、電圧などの制御誤差があり、これらを含めて一般に箔圧延機の張力制御可能範囲は、最大張力対最小張力の比が10対1程度以上はむずかしいとされている。したがって上記のような大幅な張力範囲の制御を必要とする圧延機では、巻取り、巻出電動機、減速機の構成に特別の考慮が必要で定格の同一または異なった電動機を直列または並列に使用し、張力範囲にしたがって適宜クラッチで切替えるとか、さらに減速比の異なったものを組合わせて使用するなどの方式が採られている。

3.1.2 先進率、圧下率が大きい

鋼板の圧延では、先進率は0~6%であり、1パス当りの圧下率はせいぜい40%止りであるがアルミ箔圧延では、前者は15~30%であり、後者は50~75%にとられるのが普通である。特に先進率は板厚、速度、張力などの影響を受けるものであり、これらを考慮すると自動圧下補償あるいは自動先進率補償を設けられれば好都合である。しかるにアルミ箔であるため、張力は低く、きずもつきやすいので前後面の箔の速度を検出できるような発電機付速度検出ロールを置くことができない。これらの補償回路はすべて手動で予定量にセットするわけであるが、その調整範囲は十分広くかつ精密にできるようにしておかねばならない。

また、巻取り、巻出し各電動機の定格速度は箔圧延独特の先進率、圧下率を考慮に入れて決定しないと過速度、あるいはトルク不足などの不都合をきたすことになる。

3.1.3 厚み制御

最終パス付近の箔圧延では、上下作業ロールは密着しておりいわゆる“roll the roll”に近い状態で圧延されるため、圧下圧力による板厚の調整は困難であり、圧延速度、後面張力のいずれか、または両者を調整して行う。

自動厚み制御の方法もやはり、張力または圧延速度の調整によつて行うことができるが、最近では速度による方法が主体となっている。

3.2 回転機

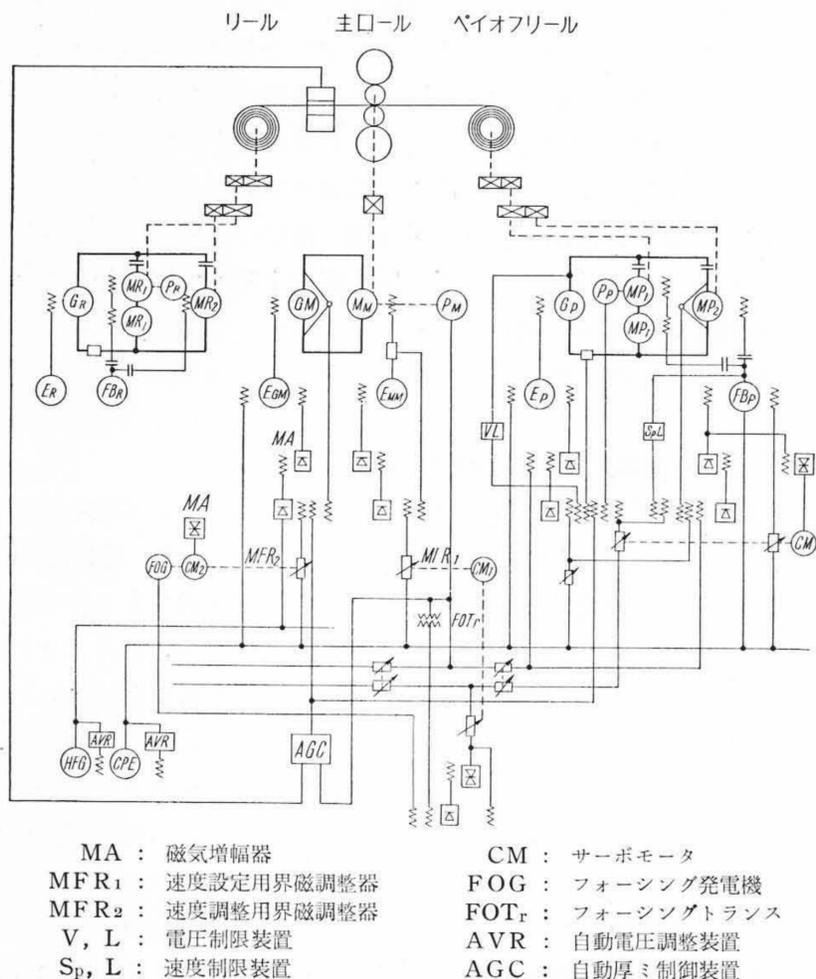
3.2.1 電動機

仕様は第1表に、また電動機の配列を第1図に示す。

主電動機300kWは減速機なしで直接ピニオンスタンドを介してミルにつながる。巻出機、巻取機にはおのおの19kWおよび37kW各1台が、中間に2:1の減速機を介して配置され、薄物圧延のときは19kWを、また厚物のときは37kWを使用する。19

第1表 回転機一覧表

用途	略号	機器名	容量	形式	定格
主ロール	GM	発電機	330kW	FB1-Sp	440V, 1,200 rpm
	EGM	励磁機	5kW	FCO-Sp	110V, 1,800 rpm
	MM	電動機	300kW	EFCO-Spkk	440V, 650/1,300rpm
	EMM	励磁機	5kW	FCO-Sp	110V, 1,800 rpm
	PM	パイロット発電機		TCO-Sp	220V, 1,300 rpm
ベイオフリール	GP, GR	発電機	45kW	FC1-Sp	220V, 1,200 rpm
	EP, ER	励磁機	1kW	FCO-Sp	110V, 1,800 rpm
	MP1, MR1	電動機	2×9.3kW	EFUCO-Sp	220V, 400/1,440rpm
	MP2, MR2	電動機	37kW	EFUCO-Sp	220V, 300/1,000rpm
	FBR, FBR	昇降機	1kW	FCO-Sp	150V, 1,800 rpm
電源	PP, PR	パイロット発電機		TCO-M	220V, 1,440 rpm
	CPE	定電圧励磁機	20kW	FCO-Sp	110V, 1,800 rpm
	HFG	高周波発電機	20kVA	SO-I	330V, 420~3,600R...M



第 5 図 制 御 結 線 図

kW を使用するときには 37kW のほうはクラッチで切離し、慣性および無負荷損失の軽減をはかる。37kW を使用するときには 19kW は単なる中間のつなぎ軸となり、電動トルクは発生しない。巻取側は 19 kW がコーンヘッドに直結されるが、巻出側は 1: 2. 1 の減速機を介してコーンヘッドにつながっている。

巻取り電動機の定格速度は、先進率30%として決定した。

過負荷はすべて 125% 2 時間、最大トルクは 200% のミル規格であり、絶縁は 300 kW 主電動機は B 種で温度上昇 40°C, 19kW, 37 kW 電動機は F 種を採用して寸法を切詰め、慣性の低下を計った。また同様の理由で 19 kW は二重電機子構造を採用した。通風は地下ダクトから機内へ押込み、機械室へ吐出す強制通風である。軸受はすべてコロ軸受を採用し、無負荷損失を減少し、また起動の円滑をはかって張力制御を容易とした。

### 3.2.2 電動発電機

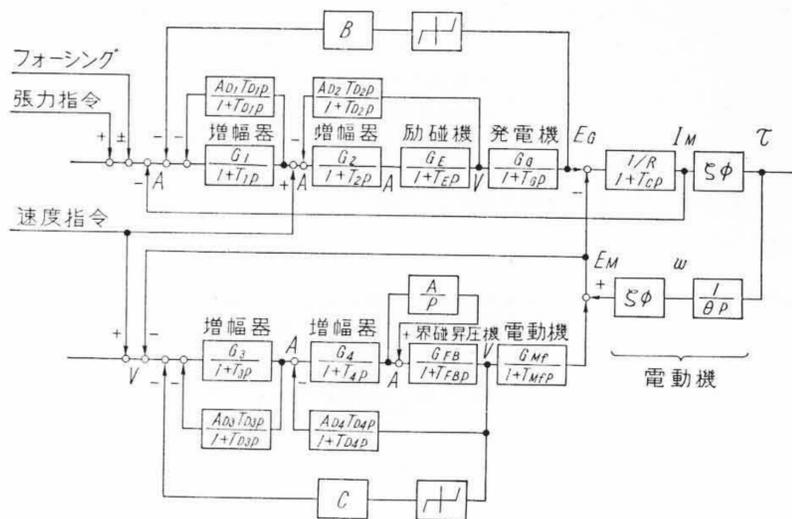
仕様は第 1 表に示すとおりである。各電動機用として各個レオナード方式の主発電機があり、これを励磁する励磁機がある。45 kW, DCG 2 台はおのおの巻取り、巻出側用で 37 kW, 19 kW に共用である。

主発電機の過負荷はいずれも電動機に合わせて 125% 2 時間、最大過負荷 200%, 絶縁は B 種である。

### 3.3 制御装置ならびに試験結果

本ミルは、製品厚さ 5 μ のアルミ箔を圧延速度 458~916m/min にて圧延するものであり、圧延張力は厳密に一定に保たれ、安定なることを要求される。したがって張力制御は、高利得、高速応性を有するものであることはもちろん、特に張力加圧時および加減速時に圧延材に急激な張力変化を与えることなく、円滑、安定なことが必要である。

第 5 図は制御結線図で、パイオフィール、主ロール、リールより成り、おのおのは独立した発電機によりレオナード制御される。主ロールは定電圧制御と定界磁電流制御により定速度制御を行い、パイオフィール、リールは、定電流制御と定電圧制御により定張力制御を行っている。それらの制御にはすべて高性能の 400 形磁気増



- G<sub>1</sub>~G<sub>4</sub>: 増幅器利得(A/A, A/V)
- T<sub>1</sub>~T<sub>4</sub>: 増幅器時定数(s)
- G<sub>E</sub>: 励磁機利得(V/A)
- T<sub>E</sub>: 励磁機時定数(s)
- G<sub>G</sub>: 発電機利得(V/A)
- T<sub>G</sub>: 発電機時定数(s)
- G<sub>FB</sub>: 界磁昇圧機利得(V/A)
- T<sub>FB</sub>: 界磁昇圧機時定数(s)
- G<sub>Mf</sub>: 電動機界磁利得(V/s/A)
- T<sub>Mf</sub>: 電動機界磁時定数(s)
- R: 主回路抵抗(Ω)
- T<sub>C</sub>: 主回路電氣的時定数(s)
- ζφ: 単位回転数当りの逆起電力(V/s)
- ⊙: 慣性能率(kg·m<sup>2</sup>)
- A: 無定位記憶制御系利得(A/A)
- B: 電圧制限装置利得(A/V)
- C: 速度制限装置利得(V/V)
- E<sub>M</sub>: 電動機逆起電力(V)
- I<sub>M</sub>: 電動機電流(A)
- τ: 電動機トルク(kg·m)
- ω: 電動機回転数(rad/s)

第 6 図 リール張力制御系ブロック線図

幅器を使用している。また、放射線厚み計による自動厚み制御を行い、製品精度の向上を期している。

### 3.3.1 基準電源部の定電圧制御

直流制御電源として 20 kW, 110V 直流発電機(CPE)を設け、ランプ式検出器と磁気増幅器により ±0.5% 以内の精度に保たせてある。また、磁気増幅器用高周波交流電源として、20 kVA, 330V, 420~ 高周波発電機(HFG)を設け磁気増幅器による定電圧制御を行っている。

### 3.3.2 主ロールの定速度制御

主ロールの速度制御の問題点は、定速度制御と加減速の直線性である。本ミルにおいては圧延に先だて電動機界磁調整器を設定する界磁設定方式により、加減速は電圧制御により行われるものとした。速度指令は特殊設計により円滑な起動加速を行っている。

### 3.3.3 リールの定張力制御

定張力制御は主ロールの定速度制御と相まってリールの定電圧制御と定電流制御とによる定出力制御によって得られる。

すなわち、主ロール定速制御によって規定された圧延速度を  $v$  (m/s) とし、張力  $T$  (kg) とすると  $v \cdot T$  は巻取機の張力馬力であり、電動機逆起電力  $E_M$  (V), 電動機電流  $I_M$  (A), 巻取りドラムまでの無負荷損失  $w$  (W) とすると

$$9.8 v \cdot T = E_M I_M \pm w \dots \dots \dots (2)$$

+は巻出側, -は巻取側

したがって主ロール PG より速度指令を与えて  $E_M \propto v$  とし、 $w$  に相当する電流を加減して別途補償すれば  $T \propto I_M$  となる。

#### (1) 定電流制御

定電流制御は発電機電圧を変化させて行う。中間増幅器に、主ロール速度に比例した量が別にバイアスとして与えられているので、初段増幅器は動作点が常に設定点にあり、制御を容易ならしめてある。

張力指令回路は、張力加圧時アルミ箔にかかる張力が急激にかからぬよう考慮されている。

#### (2) 定電圧制御

リールの巻取比が大きいアルミ箔ミルにおいては、一般にリール電動機界磁制御制御範囲は巻取比とほぼ等しく選定される。圧

延速度に比例した量を電動機界磁制御系に与え、最高速度において定格電圧となるよう制御される。

コイル巻太りにより応動する定電圧制御系のMAの出力を検出増幅してサーボモータを応動させ、界磁昇圧器(FB)の界磁調整器を作動して、電動機界磁電流を変え、定電圧制御系MAの出力を常に一定にする

よう動作する。したがってこのFRの位置はコイル径に相当した値を示す、いわゆる記憶制御を行っていることとなり、これに連動してコイル径変化にともなう制御、たとえば、加減速補償などを行うことができ、円滑で高利得の安定な制御を行うことができる。

### (3) ドラフト補償、先進率補償

ペイオフリール側は圧下率に、リール側は先進率に相当する量だけ主ロールPGより与えられるロール周辺速度に対して、それぞれ、ドラフト調整器、先進率調整器によって設定補償されるが、その量は非常に広範囲にわたるため、ペイオフリール、リールの各ギヤ比の選定と相まって電氣的に適正量を与えるように設計された。

### (4) IR降下補償

リール電動機界磁による定電圧制御系において、電動機電機子抵抗によるIR降下のために、ペイオフリール側界磁は強められ、リール側は弱められる傾向となり、低速度におけるほど、この影響は大きい。

これに対して、張力電流およびフォーシング電流の各指令電流に比例した補償電流を定電圧制御系に与えて、十分なIR降下補償を行うようにしている。

### (5) 無負荷損失補償

(2)式によって $w$ は電動機からリールドラムまでの無負荷損失であり、この量は、圧延速度はもちろん、コイル巻太りによる電動機速度の変化により変化する。

これに対し、電動機速度をパイロット発電機( $P_P$ ,  $P_R$ )により検出し、近似量を補償している。

### (6) 加減速補償

リールは定電流制御を行っているので、加減速時には加減速トルクに相当する加減速電流指令を張力電流指令に加え、圧延材張力に変化を与えないようにする必要あり、そのフォーシングの量、加えられる時間およびその形状が、所要加減速勢力に対して、適正なものでなければならない。

#### (a) フォーシングの量

次の諸量に関係する。

##### (i) ミルの加減速度

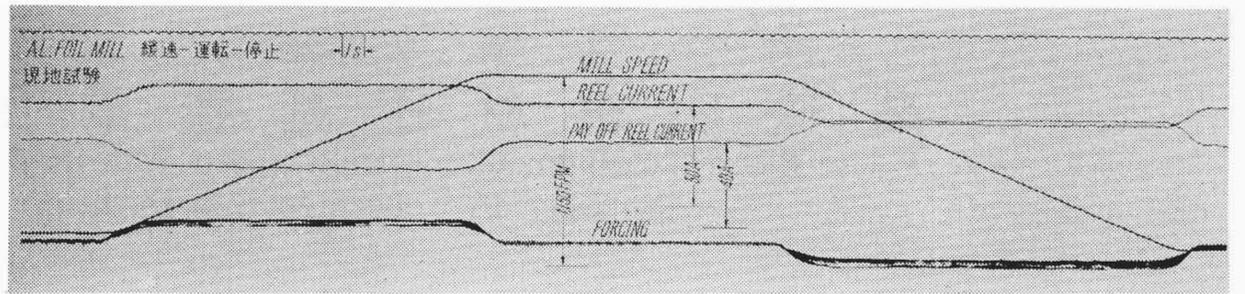
ミルの加減速度は、直線加減速とすれば速度調整用界磁調整器(MFR<sub>2</sub>)の動作速度に比例する。したがってこれに直流発電機(FOG)を直結し、この出力をフォーシングとして与えてよく、また主ロールPG出力をフォーシングトランス(FOTr)により微分してフォーシングとして与えてもよい。本ミルにおいては、両者を併用した。

##### (ii) コイル径の大小

巻太りによりコイル径変化にともなうGD<sup>2</sup>の変化と、電動機界磁の強さの変化を生ずる。これは記憶制御装置に連動した調整抵抗器により調整補償する。

##### (iii) コイル幅の大小

高速フォイルミルでは電動機とドラム間の減速比が小さく、た



第7図 現地における加減速オシログラム

たとえば本ミルにおいては直結であり、コイルGD<sup>2</sup>分の全体のGD<sup>2</sup>に占める割合が大きく、フォーシング量が大きく変る。原理的には記憶制御装置に連動するフォーシング補償調整器を別の抵抗配列のものと切替える必要があるので、本設備のものはコイル幅により2段または3段切換えとしてフォーシング量の正確を期した。

#### (iv) 圧下率、先進率

ロール周速に対して、ペイオフリール側は後進率分だけ低く、リール側は先進率分だけ高く、それぞれ速度が変る。したがってフォーシング量はそれに応じて補償する必要あり、ドラフト調整器および先進率調整に連動して補償調整される。

#### (b) フォーシングの時間および形状

加速の始めと終りのフォーシングの時間、形状については、時間調整要素などにより、またミル定速度指令の時定数の調整により、ミルの加速特性に合致したものになるように考慮してある。

#### (c) 自動厚み制御

厚み偏差によりサーボモータを作動させ入側張力およびロール速度を調整して厚み制御を行っている。圧延材の薄い場合は主として速度調整による。

### 3.3.4 各種保護

リールの過電圧、過速度に対しては、電圧制限装置ならびに界磁制限装置により過電圧リレー、遠心力開閉器とともに、保護を行っている。箔切れの場合はリール発電機の電圧上昇率を検出して自動的に主回路遮断し急速停止させる。

### 3.3.5 運転操作

入口側操作盤および出口側操作盤により操作上、保守上不具合のないよう、操作盤上の器具配置を考慮し、高性能の制御器具を使用している。

### 3.3.6 試験結果

第7図は現地における加減速のオシログラムを示す。

## 4. 結 言

以上機械品、電気品の設計概要ならびに試験結果について述べたが箔圧延については、まだ十分には明らかでない事柄が多く、過去の経験が現在のところ大きな指針となっている。今回のミルが、好調なスタートを切り成功を収め得たのも、豊富なる経験と技術を有せられる東洋アルミニウム株式会社のご指導に仰ぐところが大きい。ここに発表の機会を得たことにあらためて深甚なる謝意を表すものである。

思うに圧延機は製作者側と使用者側の密接な連携が必要であるが特に箔ミルにおいては著しいと考えられる。今後この貴重な経験と実績を基として、さらに研究を重ね、アルミ箔圧延設備の設計製作の根本方式を確立すべきであると考え。特に機械品電気品を同一工場設計製作できたことはきわめて好都合であった。かかる高性能ミルでは特に両者の緊密なる連携が、その成功の重要な一要素であって、今後とも、総合技術の真価を発揮し、世界水準を抜く箔圧延機の製作を期する次第である。