

# 試作精密圧延機による圧延実験

鈴木 弘・橋爪 伸・小野 孝一

## ま え が き

金属材料の圧延に関する研究は非常に多く、圧下力あるいは圧延トルクを求める数式を、理論的あるいは実験的に究明した研究も少なくない。しかしこれら研究により求められた理論式あるいは実験式も、現段階では計算結果に若干の誤差を伴うのはよく知られているとおりである。しかも未知な材料について、これら数式を使用して実際作業に必要なパス・スケジュール、前後方張力値等の圧延条件の最適値を決定することは全く困難である。

本精密圧延機は最終の目的として、硬質材料（時計用動力ゼンマイ材）を板厚精度 $\pm 1\%$ で、薄板圧延を行なうことを目的としている。本実験はこの場合の最適作業条件を実験により決定することを目的としたが、予備実験として0.9%C、0.1%C鋼について行なった実験の結果を3部において報告する。

実験はつぎの3項目について行なった。

- (I) 圧延機の動特性および機械的特性の検討
  - (II) 圧延条件が圧下力および板厚におよぼす影響の検討
  - (III) 圧延条件が圧延材の機械的性質におよぼす影響の検討
- (I)は圧延機に装備した張力自動制御装置および速度自動制御装置の総合動特性および圧延機の剛性が初めの

計画値を満足しているかどうかを検討したものである。

(II)は時計用動力ゼンマイ材の圧延実験計画を決定するため行なった予備実験であり、0.9%C、0.1%C鋼を使用して連続圧延実験を行ない、圧下率、前後方張力値、圧延速度を変化して圧下力、圧延材の板厚を測定し、前記3圧延条件の圧下力、圧延材の板厚におよぼす影響を検討した。

(III)は(II)において圧延条件を変えて圧延した板材の機械的性質を検討したもので、各板材について引張試験および硬度試験を行ない、圧延条件が板材の引張強さ、伸びおよび硬度におよぼす影響を検討した。

以上3項目についての実験を終わり、この実験結果を参考にして、時計用動力ゼンマイ材の最適作業方式を決定する実験を行なった。しかし特殊な材料であるので、本報告ではこの実験結果は省略するが、実験の結果圧延作業、板厚精度、板の機械的性質等に予期した好結果がえられたことを付記しておく。

なお本実験に際しては、第二精工舎柳生寿朗君が終始熱心に協力し、また山武ハネウエル・東洋電機・幸上無線の各社の協力を求めた点もあった。感謝をここに表明する。

## 第1部 圧延機 の 特 性

### I. 圧延機の動特性

本精密圧延機には張力自動制御装置および速度自動制御装置が装備してある。これら自動制御装置の個々の特性については、前項において詳細にのべられている。しかし実際の圧延においては、両自動制御装置は互に干渉し、影響をおよぼし合うため、個々の制御特性を求めたのみでは不十分であり、両自動制御装置が干渉した場合の総合動特性を求める必要がある。

両自動制御装置はダンサーロール部分で干渉する。すなわち張力自動制御装置はダンサーロールに取り付けた油圧シリンダにより、常に設定値の張力を加えている。一方速度制御は圧延機各スタンド間のフープ材のタルミ量により上下するダンサーロールの位置を検出して制御を行なっている。張力制御上からはダンサーロールが移動せず、一定位置に止まっていることが理想的であり、ダンサーロールの上下運動により張力偏差を生ずる可能性がある。速度制御装置はダンサーロールの定置制御であり、ダンサーロールが設定位置に常に止まるように制

御するが、常に一定位置に止めることは制御上不可能である。しかも張力制御で設定した張力はダンサーロールに加わり、速度制御におけるダンサーロールの上昇運動に対して、制御系と別のダンピング回路を加えたと同じ効果があり、張力設定値をかえればダンピング特性が変化することになる。このように両制御系の干渉は複雑な現象であり、個々の特性から総合特性を推定することができないので実験により両制御装置の総合特性を求めることにした。

#### 1. 測 定

両制御系において、実際の圧延で直ちに問題となる量は張力偏差である。張力が許容値以上になれば、圧下力、圧延トルク等の圧延作業上の要素に、また板厚、引張強さ等の板の機械的性質に影響をおよぼす。したがって測定の主眼を張力偏差におくべきであり、ダンサーロールの上昇下降運動により生ずる張力偏差を直接記録することが望ましいが、記録に必要な電力を張力制御装置から取ることが、制御系の特性を変化することがあっては好ましくない。幸にダンサーロールの移動加速度に対する

張力偏差は、前項において佐藤・伊藤・河西三氏が求めているので、3個のダンサーロールの位置を時間に対して測定記録し、このデータからダンサーロール移動加速度を求め、張力偏差を求めることにした。

1～3号のダンサーロール位置の測定は、ダンサーロールの位置により変化するセルシン発電機の出力電圧を、電磁オシログラフに入れて記録した。セルシン発電機の出力電圧の電力は十分あるので、記録することにより速度制御動作に影響をおよぼすおそれは全然ない。記録はこのほか巻取速度について行なった。

記録時の圧延条件は下記のとおりである。

材質：0.1% C 鋼，板厚 0.185→0.167→0.150→0.135  
(圧下率各段 10%)

潤滑油：スピンドル油

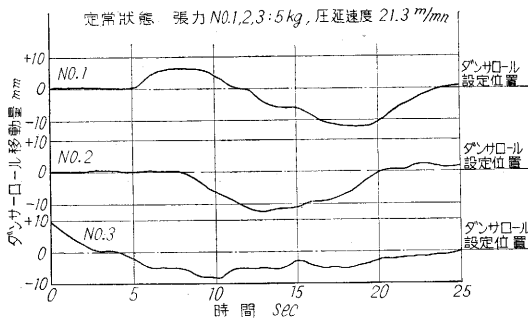
張力は第1～3スタンドすべて等しくし、50kg, 20kg, 5kg の3種の場合について測定した。

2. 測定結果

測定は圧延の定常状態およびダンサーロールの上昇下降が最も激しいと思われる起動・増速状態，減速状態の場合について行なった。

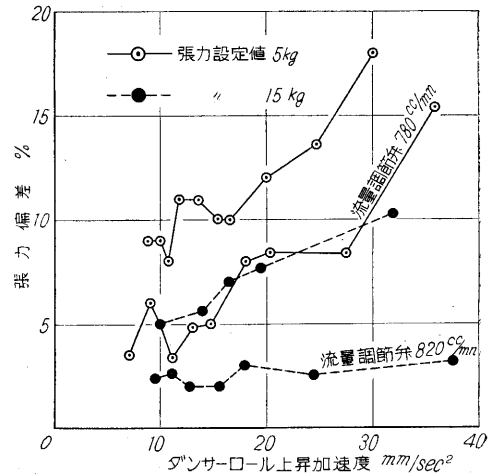
2-1 定常状態

測定結果を第1-1図に示す。1～3号ダンサーロールの張力はすべて5kg，圧延速度を 21.3m/mn にして測定した結果である。張力を5kgにしたのは、張力が小さい



第1-1図 オシログラフ記録 (定常状態)

ほど速度制御は不利であり、ダンサーロールの運動も激しくなると思われるので、定常状態としては最も条件の悪い場合を選んで検討する目的からである。第1-1図にみられるようにダンサーロールの移動量は、設定値に対して、ほぼ±10mmである。ダンサーロールにはハンチング防止のため、おのおのダンサーロールの設定位置から±10～±15mm移動しても、サーボ機構が動作しない不感帯が設けてあり、ほぼこの範囲内にあると思われ、制御特性としては最上であるといえることができる。また定常状態におけるダンサーロールの移動加速度は 5mm/sec<sup>2</sup> をこえることはなく、張力偏差も流量調節弁をつければ、条件の最も悪い最低張力設定値の場合にも張力偏差の許容値±5%をこえることはないと思われる(第1-



第1-2図 張力偏差 (佐藤・伊藤・河西三氏の測定データより)

2図参照).

2-2 起動・増速状態

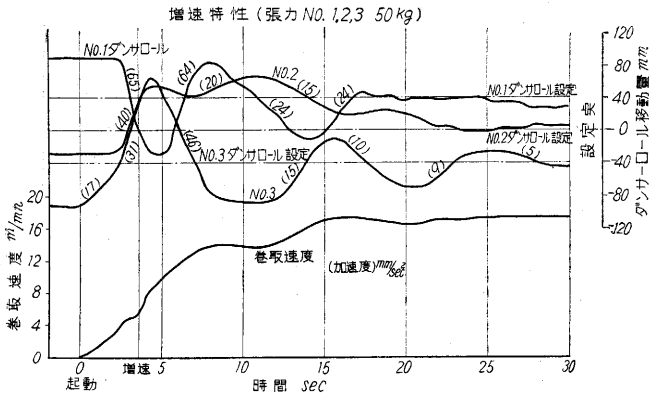
圧延の定常状態においては、制御系の減衰率を大きくすれば、ダンサーロールのハンチングを防止でき良好な制御を行なうことができる。しかし一方圧延機の起動および増速の場合には、減衰率が小さく追従速度が早い方が望ましい。この両状態は互に相反する現象であるので、同一制御系で両状態における好結果を期待することはできない。本圧延機においては定常状態の特性に重点をおいて制御し、前記のような好結果がえられたが、起動・増速時の特性が悪化することは避けられなかった。しかもこの場合に、駆動電動機の始動回転数は、圧延開始回転数とそれぞれ毎分 80～90 回転の差があり(トルクコンバータの出力トルクが圧延荷重に打ち勝つまではトルコンが空転するから)、起動時にはこの回転数差が制御上むだ時間となるので、起動時の特性は最も悪くなっている。もっとも圧延作業条件が一定に決まれば、この差を最小にすることは可能である。

I号機 II号機 III号機

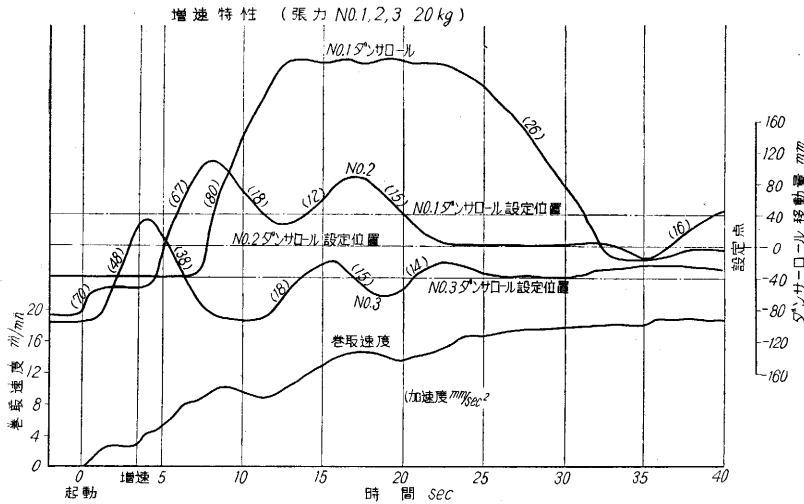
駆動電動機始動回転数	800	850	880 rpm
“ 圧延開始 ”	890	930	960 rpm

測定の結果は第1-3～5図に示す。1～3号の張力値はすべて等しくし、張力値を 50kg, 20kg, 5kg にえらんで測定した。巻取速度も同時に記録し、図に示してある。巻取速度は一樣に増加していないが、これはダンサーロールが上ストップにあたり、非常スイッチが動作するのをさけるよう操作したためである。このため増速過程に減速動作が入る場合もあり、ダンサーロールの上下動を助長した傾向も見受けられる。

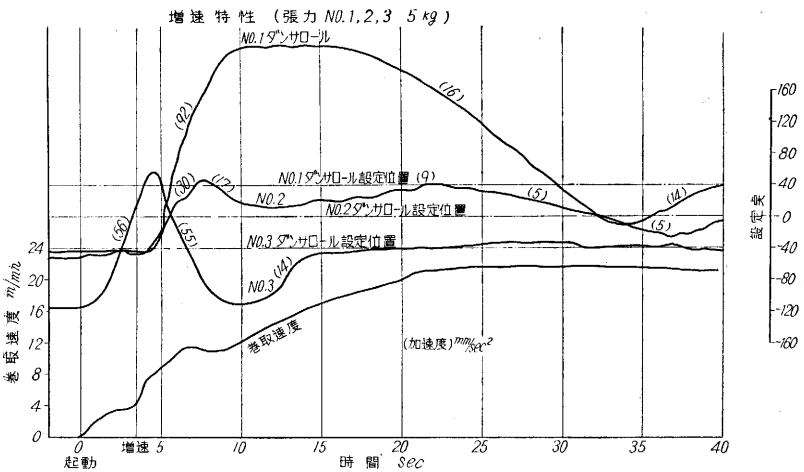
張力値が異なる3種の記録で、巻取速度の増速条件が同一でないため、3つの速度制御特性を厳密に比較検討することはできないが、大体の傾向は示している。



第1-3図 オシログラフ記録 (起動・増速)



第1-4図 オシログラフ記録 (起動・増速)



第1-5図 オシログラフ記録 (起動・増速)

すなわち第1-3~5図において、張力設定値が大きいほどダンサーロールの移動量が少なく、移動量が減少しつつ設定位置に定着するまでの時間も短くなっている。したがって速度制御上からは、張力値が大きいほど有利であるということが出来る。なお1号ダンサーロールの

移動量は、張力値 20kg, 5kg の場合に、2, 3号に較べて大きい、これは制御の安定化のため減衰率を大きくしてあるためである。

ダンサーロールの上昇下降により生ずる張力偏差は、ダンサーロールの移動加速度により変化する(第1-2図)。このため加速度を計算し、図のダンサーロール移動量曲線にそった括弧内に示した。括弧内の加速度はその区間の最高加速度を示している。起動および増速初期における加速度は非常に大きく、張力設定値 50kg の場合でも、張力偏差の許容値 $\pm 5\%$ 以内に止めることには困難が予想される。張力設定値が小さくなればダンサーロールの移動

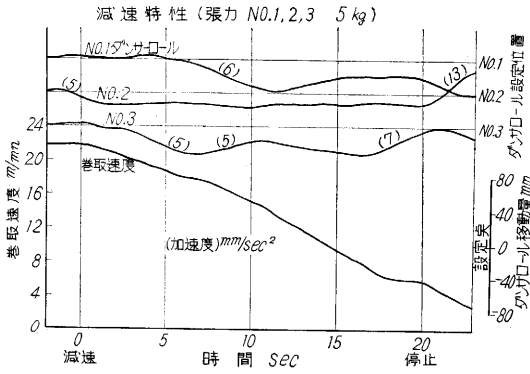
加速度が大きくなり、最高加速度は  $92mm/sec^2$  にも達している。しかも同一加速度においては張力設定値の小さい方が張力偏差が大きくなる悪条件が重なる。第1-2図によれば張力設定値 5kg の場合には、張力偏差が  $5\%$  以内であるのは加速度  $10mm/sec^2$  までであり、加速度が増加すれば加速度の2乗に比例して増加する傾向があり、張力 5kg の場合は起動時には張力偏差は非常に大きく、起動後30秒間は張力偏差の許容値をこえる場合がある。一方張力が 20kg 以上の場合には流量調節弁をつければ、起動後 15 秒過ぎれば許容量をこえることがない。

本測定の場合起動後直ちに増速を行なっているため、起動の影響が増速特性におよんでいることも考えられる。また最悪条件の場合をえらんだため、増速はできるかぎり短時間で行なうことにした。このためダンサーロールの移動加速度が非常に大きくなった。しかし実際に圧延を行なう場合には、第2部で詳細にのべるが本圧延機の最低および最高速度で圧延実験を行な

った結果からは、圧延速度は圧下力、板厚あるいは板の機械的性質に影響をおよぼさないことが判明している。圧延速度の増速はダンサーロールの移動加速度が小さくなるよう、徐々に進めることができ、張力偏差ははるかに小さくなるのが期待できる。

2-3. 減速状態

減速時の測定結果を第 1-6 図に示す。張力値は第 1~3 スタンド 5kg にし、巻取速度 22.3m/mn より連続的

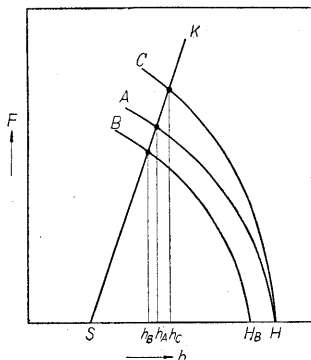


第 1-6 図 オシログラフ記録 (減速)

に減速した。減速時のダンサーロール移動加速度は図に見られるとおり非常に小さい。張力設定値は 5kg にして測定したが、これは張力設定値が小さいほど張力偏差が大きいことを考慮したためである。張力設定値がもっと大きい場合には下降加速度がもっと増加することが予想される。しかし前項伊藤・河西両氏の測定結果によれば、ダンサーロール下降時は、減圧弁が正規の動作であるため、張力偏差は下降加速度の大きな値まで許容値内にあることが報告されている。本測定の場合ダンサーロールの下降加速度は最高 7 mm/sec<sup>2</sup> であり、設定値の大きい場合には下降加速度は大きくなるが、張力偏差は著しく小さくなる。したがって減速時の張力偏差は考慮する必要がないと思われる。しかも前記起動・増速時の項にのべたと同じ理由からダンサーロールの下降加速度が小さくなるように操作すれば、張力偏差ははるかに小さくなり、無視することができるであろう。

II. 圧延機の剛性

圧延機で材料を圧下する場合、材料とロールに作用する力によりロール、圧下ねじ、ハウジング等の各部は弾性変形する。したがって上下ロール間の間隙を  $S$  に設定しても、その時の圧下力による圧延機の弾性変形による歪  $\Delta S$  が加わり、えられる板厚は  $S + \Delta S$  となる。この関係は第 1-7 図の  $F-h$  線図により表わすことができる。一般に圧下力  $F$  と圧延後の板厚  $h$  との間には次の直線関係が成立する。



第 1-7 図  $F-h$  線図

$F=K(h-S)$   $K$  は圧延機のバネ係数である。バネ係数は圧下力と圧下力の作用した場合各部に生ずる弾性変形の総量との比であり、第 1-7 図の  $K$  直線の傾斜によって示される。圧延する板の圧延に対する抵抗が  $A$  曲線で表わされるとし、バネ係数  $K$  の圧延機で設定間隙  $S$  にして圧延すれば、えられる板厚は  $A$  曲線と  $K$  直線の交点に相当する板厚  $h_A$  となる。すなわち圧延後の板厚は圧延機のバネ係数と圧延材の圧延抵抗によって決定される。圧延機のバネ係数は圧延機特有の値であり、ほとんど変化しないと考えるてよい。圧延抵抗は材料の板厚、板幅、前・後方張力、圧下率、摩擦係数等種々の原因により変化する。たとえば原材の板厚が  $H$  から  $H_B$  に変化すれば、曲線  $B$  となり、圧延後の板厚は  $h_B$  に変化する。また材料の板幅の変化あるいは前後方張力値の変化により、圧延抵抗が曲線  $C$  になったとすれば、えられる板厚は  $h_C$  となる。

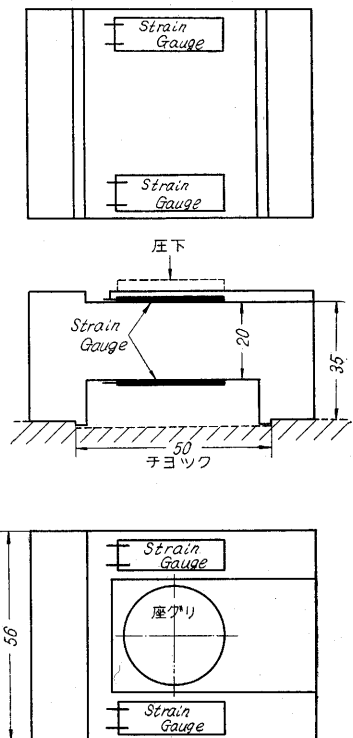
圧延機が完全剛体であれば、バネ係数直線  $K$  は垂直になり、圧延抵抗曲線が変化しても、えられる板の厚さは常にロール間隙設定値  $S$  に等しい。圧延機を完全剛体にするには不可能であるが、バネ係数を大きくし、剛体に近くすれば、圧延抵抗の変化により生ずる板厚誤差は小さくすることができる。

本精密圧延機は時計用動力ゼンマイ材の圧延機であり、ゼンマイの性質上仕上がりが板材の板厚精度は特に重視されている。このため圧延速度は最高 25m/mn の低速にし、材料の圧延変形抵抗に影響をおよぼす因子は、圧延中変化しないよう考慮して設計してあるが、圧延変形抵抗が多少変化することはさけられない。このため圧延機の剛性もできる限り大きくなるよう考慮した。

本実験は圧延機のバネ係数が計画値を満足しているかどうかを実験的に求めたものであり、その測定結果を報告する。

1. 測定

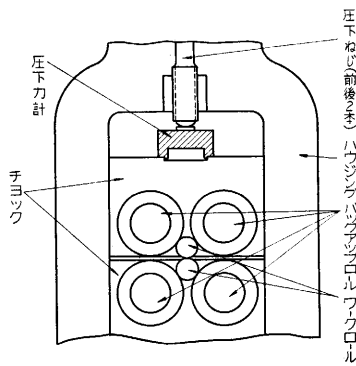
バネ係数の測定は圧下ねじにより



第 1-8 図 圧下力計

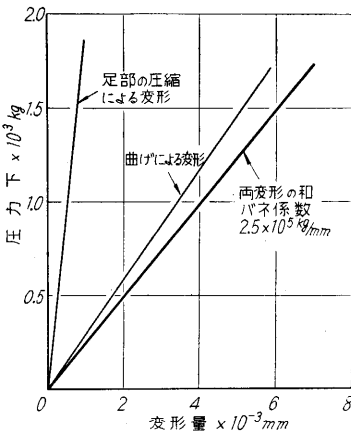
上下ロールを押し付け、その場合の圧下力を抵抗線歪計を組み込んだ圧下力計で測定した。

使用した圧下力測定用ダイナモメータは第1-8図に示す。圧下力は曲げ歪を抵抗線歪計で検出し、測定するようになっている。圧下力計は第1-9図に示すように、圧延機の2本の圧下ねじとロールショック間にそれぞれ挿入した。圧下力測定の場合圧下力計は変形するので、これが圧延機の剛性に影響をおよぼす。このため影響がなるべく小さくなるよう圧下力計に十分剛性をもたせた。圧下力計は複雑な形をしているが簡単のため両端支持の梁として計算し、変形量は第1-10図に示す値となる。すなわち変形量は1tonで4/1,000mmであり、バネ係数は $2.5 \times 10^5 \text{ kg/mm}$ である。圧延機には左右の圧下を調節するため、圧下ねじが2本あり、この両者に圧下力計を入れたので、圧延機に装備した後のバネ係数は $5 \times 10^5 \text{ kg/mm}$ になる。



第1-9図 圧下力計装着図

2. 測定結果  
測定した圧下力および圧延機の弾性変形との関係を第1-11~13図に示す。バネ係数は直線部の傾斜によりきまりそれぞれ



第1-10図 圧下力計の変形量

1号機— $1.72 \times 10^4 \text{ kg/mm}$ , 2号機— $1.66 \times 10^4 \text{ kg/mm}$ , 3号機— $1.72 \times 10^4 \text{ kg/mm}$  であり、3機ともほぼ等しい値であった。

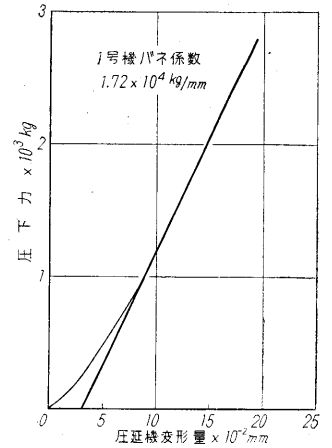
この値は計画値より幾分低く、圧下力が3tonの場合、変形量はほぼ0.17mmである。圧下力を加えた場合、弾性変形を起こすのはロール、ロールネック軸受、ショック、ハウジング、圧下ねじの各部分である、ロールはワークロール—28φ超硬、バックアップロール—90φ鍛鋼焼入ロールであり、ロールの扁平化あるいは曲がりによる変形がこのような大きな値になるとは考えられず、ショック、軸受も十分強固に製作してあり、この変

形とも思えない。ハウジングは鋳鋼製であり、圧下力3tonにおいて応力は $0.18 \text{ kg/mm}^2$ 程度である。したがってこの変形の原因は圧下ねじにあると思われる。すなわち圧下用めねじが砲金製であるため、弾性係数が小さく変形が大きくなったと思われる。したがってこの部分を鋼製に変えれば圧延機の剛性はもっと増加すると思われるが、第2部における実験にはバネ係数測定の場合の構造で実験を行なった。

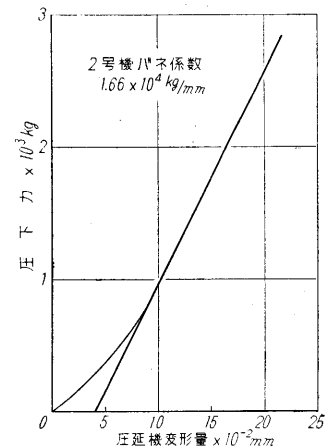
第1部 総括

張力自動制御装置と速度自動制御装置の総合動特性を求め、次の結果をえた。

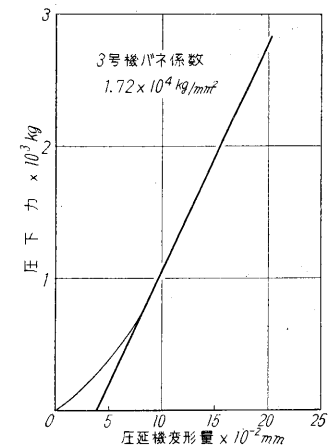
1. 圧延定常状態においては、速度制御装置の特性は非常に良好で、ダンサーロールの移動加速度は小さく、張力設定値の小さい最悪条件でも張力偏差が許容値をこえることはない。
2. 起動・増速状態においては、張力設定値50kgの場合でもダンサーロール移動加速度は最高 $65 \text{ mm/sec}^2$ に達し、張力偏差を許容値内にとどめることは困難である。張力設定値が小さい場合には、ダンサーロール移動加速度も大きくなり、しかも張力偏差は加速度の2乗に比例して増加する傾向があるため、張力偏差はさらに大きく



第1-11図 1号機バネ係数



第1-12図 2号機バネ係数



第1-13図 3号機バネ係数

なる。ただし増速を緩慢に行なえば、張力偏差を減少することができる。

- 減速状態においては、ダンサーロールは下降運動であるため張力偏差は小さく、張力設定値にかかわらず許容値以内であると推察される。  
圧延機の剛性を測定し、つぎの結果をえた。

## 第 2 部 圧 延 実 験

### ま え が き

第 1 部においては試作した精密圧延機について、装備した各種自動制御装置の動特性および圧延機の機械的特性について検討したが、第 2 部は実際に薄板を圧延する場合の圧延特性を検討したもので、硬質材料の薄板圧延に先立つ予備的な実験である。

すなわち、0.1% C、0.9% C 鋼について連続圧延を行ない、1 パス圧下率、前・後方張力、圧延速度等の圧延条件を変え、各条件における圧下力、板厚、板幅を測定し、圧延条件が圧下力、板厚、板幅におよぼす影響を検討した。

### I. 0.1% C 鋼の圧延実験

#### 1. 供試板材

実験に使用した板材は、厚さ 1 mm (誤差±30μ)、幅 10 mm の軟鋼板で、化学成分は下記のとおりである。

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.06	trace	0.44	0.007	0.016	0.12

引張強さは 31.0~31.7 kg/mm<sup>2</sup>、伸びは 47~50% (標点間距離 200 mm)、またピッカース硬度は 87.9~90.0 であった。

#### 2. 実験計画

1 パス圧下率、前・後方張力、圧延速度の影響を求めするため、これら諸因子の値を種々かえて実験を行なった。

1 パス圧下率は 10、20、30 % の 3 種とした。各場合の計画圧延行程は第 2-1 表に示す。板の最終厚さはほぼ 0.085 mm であり、全圧下率は 91.5 % である。圧下力、板厚、板幅の測定は、3 スタンド連続圧延の 3 号機において行なった。圧下力の測定は第 1 部において圧延機のバネ係数測定の場合に使用した圧下力計で行なった。各連続圧延実験の間の 1 パス圧延の工程は、板厚を一定に揃えるためのならし圧延であり、それに先だつ圧延実験中 1 本の材料で、張力、速度等の圧延条件を種々変えたため板厚が変動しているの、これが後の実験に影響をおよぼすことを防ぐためである。また各パスとも圧延が終れば巻戻しを行ない、板の圧延方向は常に同一方向になるようにした。なお 1 パス圧下率 20 %、30 % の場合には測定点が少なくなるため、2 本の材料を使用して実験を行なった。

- 圧延機のバネ係数はそれぞれ下記の値であった。  
1 号機— $1.72 \times 10^4$ 、2 号機— $1.66 \times 10^4$ 、  
3 号機— $1.72 \times 10^4$  kg/mm
- 圧下用ねじおよびめねじの材質と寸法とをかえることによりバネ係数が増加することが期待される。

第 2-1 表 圧 延 行 程

1 パ ス 10 %				
	巻 置	1 号 機	2 号 機	3 号 機
(1)	1.000	0.900	0.810	0.729
	0.729	0.658		
(2)	0.658	0.592	0.533	0.479
	0.479	0.431		
(3)	0.431	0.388	0.349	0.314
	0.314	0.283		
(4)	0.283	0.255	0.229	0.206
	0.206	0.185		
(5)	0.185	0.167	0.150	0.135
	0.135	0.122		
(6)	0.122	0.110	0.099	0.089

1 パ ス 20 %				
	巻 置	1 号 機	2 号 機	3 号 機
(1)	1.000	0.800	0.640	0.512
	0.512	0.410		
(2)	0.410	0.328	0.262	0.210
	0.210	0.168		
(3)	0.168	0.134	0.107	0.086
	1.000	0.800	0.640	
(4)	0.640	0.512	0.410	0.328
	0.328	0.262		
(5)	0.262	0.210	0.168	0.134

1 パ ス 30 %				
	巻 置	1 号 機	2 号 機	3 号 機
(1)	1.000	0.700	0.490	0.343
	0.343	0.240		
(2)	0.240	0.168	0.118	0.082
	1.000	0.700	0.490	
(3)	0.490	0.343	0.240	0.168

前・後方張力は板の断面積から応力値を計算し、1 号~3 号まで応力値を等しくして連続圧延した。前・後方引張応力は 3・5・7・10・15・20・30 kg/mm<sup>2</sup> の 7 種として張力の影響を検討した。また別に前方と後方の引張応力の値をそれぞれかえて実験を行ない、前方張力およ

び後方張力の影響を別個に求めた。

圧延速度は本機の場合最高 25m/min である。最低圧延速度は 8 m/min であるが、速度制御装置の安定のためには 10m/min 以上であることが望ましい。したがって張力の影響等を求める場合には、圧延速度は 13m/min で一定とした。圧延速度の影響を求める場合にも、速度比がほぼ 2 以上の実験は困難である。

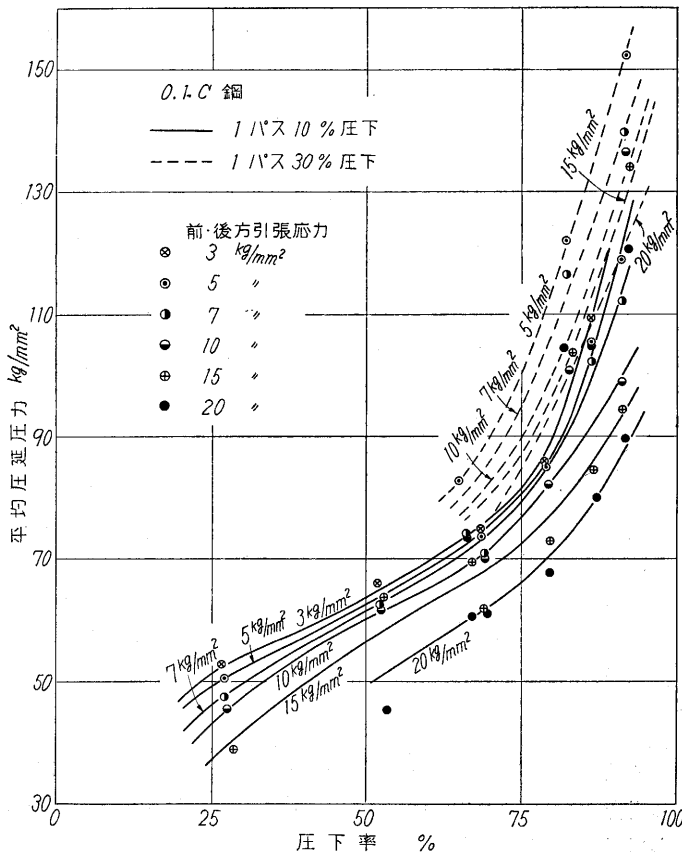
3. 平均圧延圧力

圧下力の測定は、3 スタンド連続圧延の場合の 3 号機について行なったが、連続圧延実験の場合圧延条件は 1・2 号機についても同時に変えたので、3 号機入口の板厚は、1・2 号機の圧延条件変化の影響を受け一定ではない。したがって 3 号機において測定した圧下力は圧下率が相違する場合に相当するので、圧延条件の影響を直接比較することはできない。このため実験結果を検討する場合には、圧下力をロールと材料の接触面積で割った平均圧延圧力を求めて比較することにした。

材料とロールの接触面積は、材料の幅 (b) と接触弧の水平方向投影長 (L) との積で表わされる。接触弧の水平方向投影長さは次式で求めることができる。

$$L = \sqrt{R(h_0 - h_1) - (h_0 - h_1)^2/4}$$

R: ロール半径,  $h_0, h_1$ : 圧延前後の板厚



第 2-1 図 平均圧延圧力—圧下率曲線

したがって、平均圧延圧力 ( $P_s$ ) は

$$P_s = P/b_m \cdot L$$

$P$  は圧下力,  $b_m$  は圧延前後の板幅の平均である。

本実験の場合、平均圧延圧力は上式によって求めたが接触弧の水平方向投影長さの根号中の第 2 項は、値が小さいので省略した。

上式で求まる接触弧の水平方向投影長さは、純幾何学的に求めた値であり、実際には板の弾性復元およびロール扁平変形による接触弧長の増加を考慮しなければならない。

板の弾性復元の影響については、Bland と Ford がその影響をとり入れた圧延荷重の近似的補正法を求めている。しかし本実験の場合、その補正量は一般に非常に小さいので無視することにした。

またロール扁平化の影響については、変形後のロール曲率半径を Hitchcock の式から近似的に求める方法もあるが、各圧延条件について求めることは非常に繁雑であり本圧延機のワークロールはタングステンカーバイド合金であり、弾性係数が高く変形も小さいと思われるので省略した。しかし板厚が薄くなると圧下力が増大し扁平化が大きくなる傾向があるので、板が薄く、張力が小さく圧下力が大きい場合には、誤差が大きくなる危険性がある。

4. 実験結果

4-1 1 パス圧下率の影響

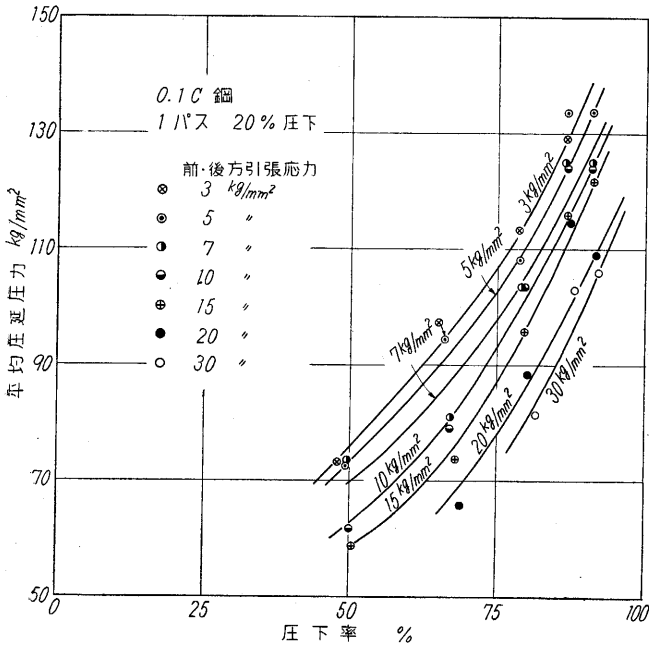
第 2-1, 2-2 図に実験で求めた平均圧延圧力—圧下率曲線を示す。1 パス圧下率 20, 30% の場合は測定点が少なく、全圧下率が小さい部分の曲線を求めることができなかったが 1 パス圧下率が大きいほど平均圧延圧力が大きくなる一般的傾向を示している。これは理論的に推測される傾向にも一致する。

第 2-3 図は 1 パス圧下率が圧延後の板幅に及ぼす影響を示している。1 パス圧下率が 10% の場合は加工が進むにつれ板幅が減少する傾向を示している。これはロール径も小さくロールと材料の摩擦係数も低いため幅拡がり少なく、また前・後方張力が作用しているためと思われる。1 パス圧下率が 20% 以上では、圧延の進むにしたがって板幅が増大しているが、30% の場合の方が幅拡がりは大きい。

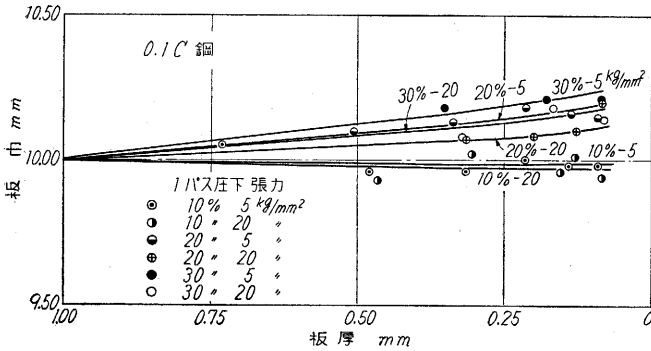
4-2 前・後方張力の影響

(a) 前・後方張力が等しい場合

前・後方張力が平均圧延圧力に及ぼす影響は、第 2-1, 2 図においても明らかである。すなわち 1 パス圧下率にかかわらず、前・後方引張応力の大きいほど、平均圧延圧力は低下



第 2-2 図 平均圧延圧力—圧下率曲線



第 2-3 図 板の幅拡がり

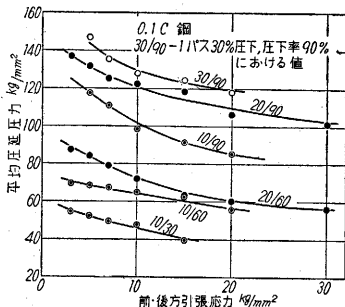
している。第 2-4 図はこの図から全圧下率 30, 60, 90%

の場合の平均圧延圧力を求めて図に示した。図から明らかなように張力の増加とともに平均圧延圧力は低下している。第 2-2 表は前・後方引張応力 5 kg/mm<sup>2</sup>

の場合を規準に

して、平均圧延圧力の低下率を示しているが、ほぼ圧下率の小さい場合ほど低下率が大きく、板厚が厚いほど張力の影響が大きい傾向を示している。また 1 パス圧下率は小さいほど張力の影響が大きく表われる傾向がある。

張力が板厚に及ぼす影響を第 2-5 図に示す。前にも



第 2-4 図 平均圧延圧力に及ぼす張力の影響

べたように本実験は 3 スタンドの連続圧延を行ない、1・2 号機の圧延条件も 3 号機と同時に変えたため、圧延条件により 3 号機入口の板厚は変化する。1 例として 1 パス 10% 圧下の場合を示せば、

前・後方引張 応力	1 号機	2 号機	3 号機	
5 kg/mm <sup>2</sup>	0.284	→0.257	→0.235	→0.213
20 kg/mm <sup>2</sup>	0.284	→0.255	→0.226	→0.203

1 号機は圧延機の構造上後方張力が変化しないようになっており、前方張力のみが変化するため、張力値が変化しても板厚変化は小さいが 2 号機以後は大きく相違している。したがって 3 号機の入口板厚が相違するため出口板厚で、張力の影響を直ちに比較することができない。このため張力を変化した場合の 3 号機における 1 段圧下率を計算し、この圧下率により同一厚さから圧下したと仮定して出口板厚を計算し張力が板厚に及ぼす影響を検討することにした。第 2-5 図はこのような計算により求めたものであるため、多少の誤差を伴っていると思われるが、誤差の生じる原因は入口の板の加工度の相違であり、加工度の差は最大 3% であり、この程度の加工度の相違の影響は無視できると思われる。

第 2-5 図において板厚に及ぼす張力の影響は、板厚の薄いほど張力の影響が大きい傾向を示している。また圧延圧力変化による板厚の変化の程度は小さく、本機のバネ係数が高いことを間接的に証明している。

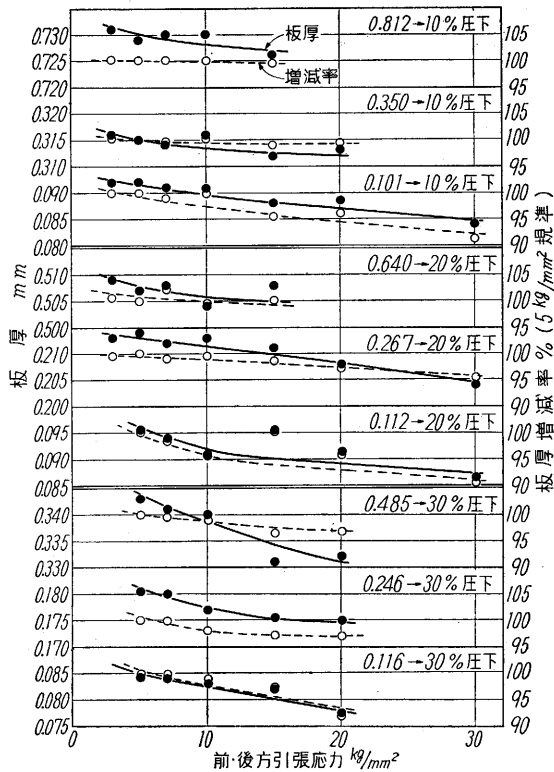
なお 1 号機より 3 号機までを含めた全連続圧延において、張力が板厚に及ぼす影響を第 2-6 図に示す。この場合にも板厚の薄いほど張力の影響が大きく表われている。また第 2-5 図と比較して、張力による板厚の減少程度が大きくなっているが、これは 1 号より 3 号機までの影響が総合して表われてきたためである。

板幅に及ぼす張力の影響を第 2-7 図に示す。板幅は板厚 0.097 mm (全圧下率 91%) の場合の値を示している。

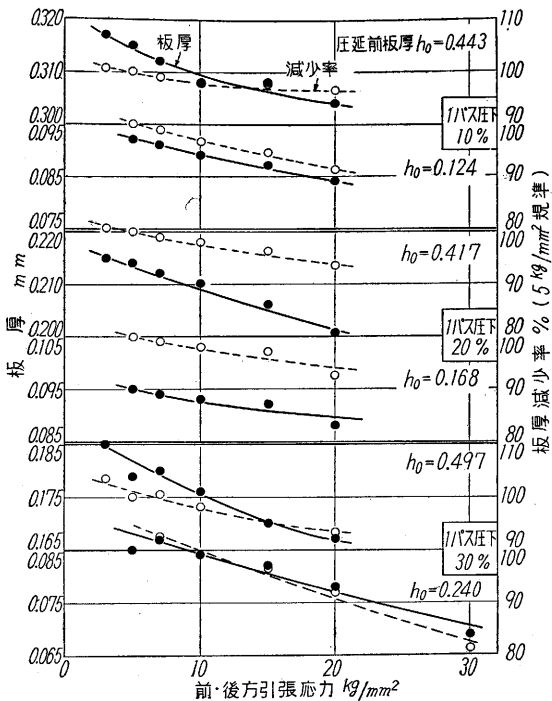
第 2-2 表 平均圧延圧力低下率%

1 パス 圧下率	圧下率	前・後方引張応力 kg/mm <sup>2</sup>						
		3	5	7	10	15	20	30
10%	30%	103.8	100	95.1	91.0	75.7	—	—
	60%	101.6	100	98.0	94.9	90.4	81.4	—
	90%	—	100	94.3	83.7	77.8	72.5	—
20%	60%	104.0	100	94.7	86.1	75.4	71.6	66.8
	90%	104.0	100	95.4	92.9	90.0	80.5	76.8
30%	90%	—	100	92.2	87.0	84.6	80.3	—



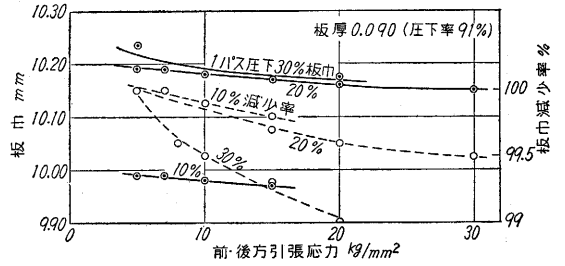


第2-5図 板厚に及ぼす張力の影響



第2-6図 連続圧延における板厚変化

この値は実験を行なった全張力値について、第2-3図に示したような板幅板厚曲線を求め、この曲線から板厚0.090mmに相当する板幅を求めた。また板幅減少率



第2-7図 張力が幅拡がり及ぼす影響

は、張力5kg/mm<sup>2</sup>の場合を規準として求めた。板幅は張力の増加にしたがって減少するが、1パス圧下率の大きいほど減少率の大きいことが、この図からも明らかである。

(b) 前・後方引張応力が相違する場合

(a) においては前・後方引張応力値を等しくして実験したが、3号機において前後の引張応力を変化し、平均圧延圧力および板厚・板幅に及ぼす影響を検討した。すなわち後方引張応力を10kg/mm<sup>2</sup>で一定にし前方引張応力を5~20kg/mm<sup>2</sup>にかえて、前方張力の影響を検討し、また前方引張応力を10kg/mm<sup>2</sup>で一定にし、後方引張応力を5~20kg/mm<sup>2</sup>にかえて、後方張力の影響を検討した。応力比は0.5~2.0であり、これ以上の応力比では圧延不可能であった。応力比の範囲は比較的狭いが、これはロール径が小さいこととロールの仕上が良好であり、ロールと材料の摩擦係数が小さく中性点がロールの出口あるいは入口に移動するのが早いのである。

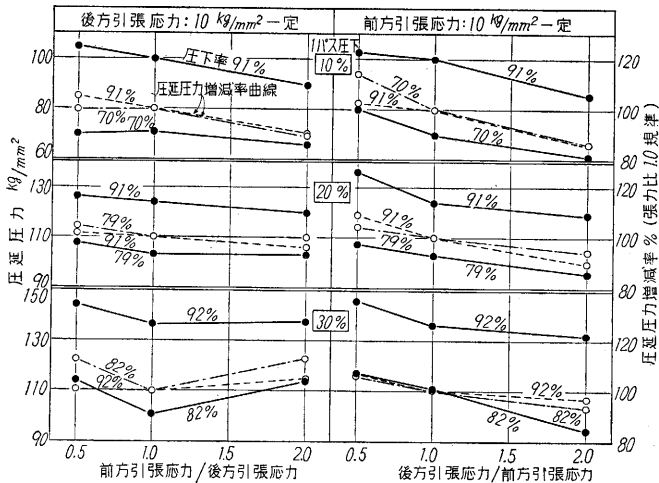
実験の結果は第2-8図に示す。前方張力が圧延圧力に及ぼす影響は、後方張力の影響よりも小さく、張力が増加するにしたがって圧延圧力が減少する傾向は、1パス圧下10%の場合に最大であり、20、30%圧下の場合には小さい。また全圧下率の大きいほど低下が大きい傾向を示している。また後方張力が圧延圧力に及ぼす影響は1パス圧下率の大小にかかわらず、表われており、後方張力の増加にしたがって圧延圧力は減少している。なおこの場合1パス圧下率の小さい方が平均圧延圧力の低下が大きい。しかし全圧下率の大小による低下の程度の差は少ない。

板厚に及ぼす影響は第2-9図に示す。前方張力の影響は、1パス圧下率、全圧下率にかかわらずほとんど現われていない。前方張力増加により板厚が増加する場合もあるが、これは測定誤差によるものであろう。しかし後方張力は板厚にも大きな影響を及ぼし、後方張力の増加により板厚は減少する。

なお板幅の測定も行なったが、前後方張力が変化しても板幅の変化はほとんど認められなかった。

4-3 圧延速度の影響

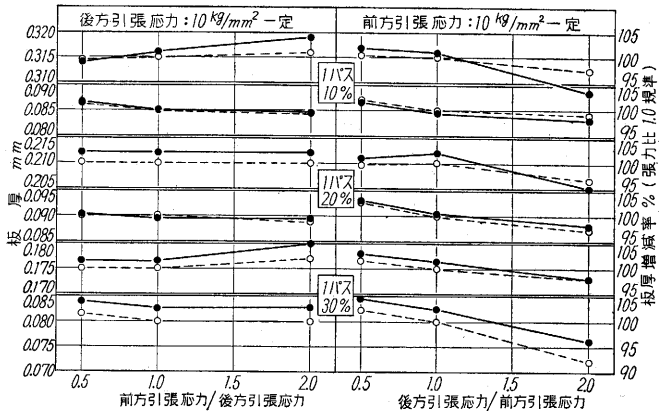
圧延速度が平均圧延圧力、板厚、板幅に及ぼす影響を



第 2-8 図 前・後方張力の影響

求めるため、前・後方引張応力を  $5 \text{ kg/mm}^2$  で一定にし、1パス圧下率および全圧下率が異なる場合について、測定を行なった。圧延速度は  $13 \sim 22 \text{ m/min}$  に変化して実験を行なった。

実験の結果は第 2-10 図に示す。図にみられるようにこの程度の変化では、圧延速度が平均圧延圧力に及ぼす影響はほとんど認められない。また測定した板厚、板幅も圧延速度の変化による相違がみとめられなかった。圧延速度が平均圧延圧力、板厚、板幅に影響を及ぼす原因としては速度変化による、(1)ロールと材料の摩擦係数の変化、(2)材料の変形抵抗の変化、(3)ロールベアリング油膜厚さの変化、(4)圧延機各部の温度上昇等が考えられる

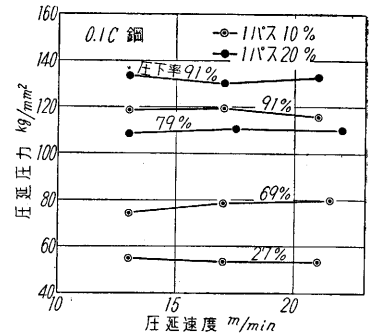


第 2-9 図 板厚に及ぼす影響

が、以上の 4 因子はこの程度の速度変化ではほとんど変化しないため、速度の影響が認められなかったと思われる。

4-4 板厚精度

本圧延機で圧延した仕上がり板の板厚分布を測定した。測定の場合の圧延条件は、前・後方引張応力は  $5 \text{ kg/mm}^2$ 、圧延速度



第 2-10 図 板厚に及ぼす影響

$21.8 \text{ m/min}$ 、1パス圧下率は10%とし、各スタンドで下記の板厚になるように設定した。

No. 1 No. 2 No. 3  
 $0.122 \rightarrow 0.111 \rightarrow 0.100 \rightarrow 0.091 \text{ (mm)}$

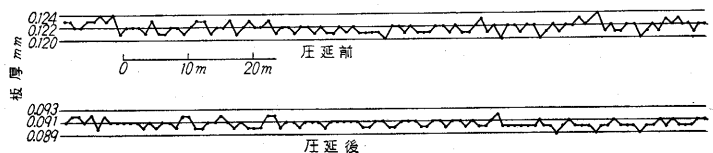
圧延前および圧延後の板厚分布を第 2-11 図に示す。測定は約  $100 \text{ m}$  の長さについて、 $1 \text{ m}$  毎に行なった。図にみられるとおり、圧延後の板厚誤差は非常に小さく、2 点を除いて  $\pm 1 \mu$  以内であった。この実験の際には実験室および圧延油の温度管理をまだ実施していないで、この程度が得られたので、実際の使用状態では、これらの温度管理を実施することを考慮すれば、さらにより結果が得られると考えられる。

II. 0.9% C 鋼の圧延実験

0.1% C 鋼とはほぼ同様な実験を行なったが、1パス圧下率は10%の場合のみについて実験を行なった。これは下記の 2 つの理由からである。

(1) 供試材の板厚が  $0.5 \text{ mm}$  であるため、1パス圧下率が大きい場合に測定点が非常に少なくなる。

(2) 材料の強度が大きく、肉厚もこの圧延機に対してはかなり厚くて、20%および30%の圧下率では、圧延に要するトルクが設計値よりも大きくなる。このため1パス圧下率が大きい場合には、速度制御の安定化のため駆動電動機の始動回転数を高くする必要があり、最適始動回転数は1パス圧下 20%-1000 rpm, 30%-1200 rpm である。しかし駆動電動機が整流子電動機であり、始動回転数をあまり高くすることができないので、圧延機の起動・増速時に速度制御が不安定になる。



第 2-11 図 板厚分布

以上の理由から1パス圧下20%, 30%の場合の実験は行なわなかったが、これらの結果は、0.1% C 鋼の実験結果から類推することにした。

1. 供試板材

実験に使用した板材は厚さ0.5mm (誤差± 20 μ), 幅10.13mm で、化学成分は下記のとおりである。

C Si Mn P S Cu Ni Cr  
 0.86 0.25 0.53 0.011 0.012 0.15 0.08 0.06  
 引張強さは53.6~57.6 kg/mm<sup>2</sup>, 伸びは33.4~35.4% (標点間距離 200mm で試験), またビッカース硬度は161~173であった。0.1C 鋼に較べてはほぼ2倍の強度である。

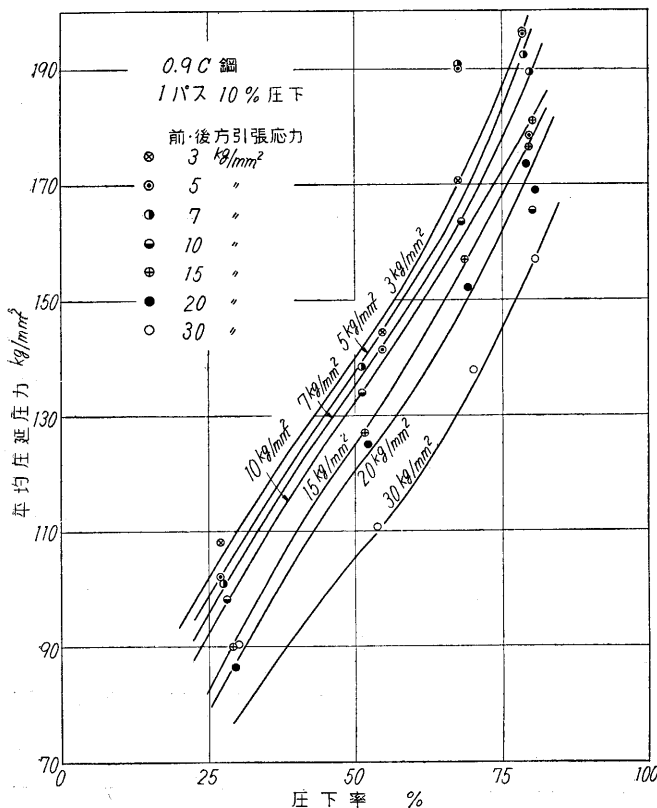
2. 実験計画

第2-3表 圧延行程

1パス 10%				
	巻置	1号機	2号機	3号機
(1)	0.500	0.450	0.405	0.364
	0.364	0.328		
(2)	0.328	0.295	0.266	0.239
	0.239	0.215		
(3)	0.215	0.194	0.174	0.157
	0.157	0.141		
(4)	0.141	0.127	0.114	0.103

実験は1パス圧下率が10%の場合のみについて行なったが、他の条件は0.1% C 鋼の実験と相違する点はない。1パス圧下率10%の場合の計画圧延行程を第2-3表に示す。

3. 実験結果



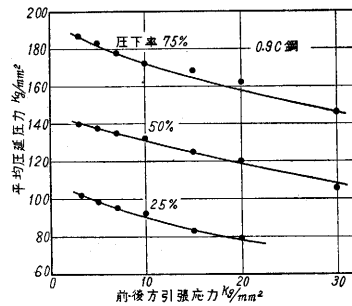
第2-12図 平均圧延圧力—圧下率曲線

実験の結果求めた平均圧延圧力—圧下率曲線を、第2-12図に示す。測定点が4点であるため、多少の誤差はさげられない。0.1% C 鋼の場合に比較して、平均圧延圧力は非常に高くなっている。

3-1 前・後方張力の影響

(a) 前・後方引張応力が等しい場合

前・後方引張応力が等しい場合、張力が平均圧延圧力



第2-13図 張力の影響

に及ぼす影響を第2-13図に示す。第2-13図の各点は、第2-12図の曲線から各圧下率に相当する値を求めたものである。第2-4表は張力による平均圧延圧力

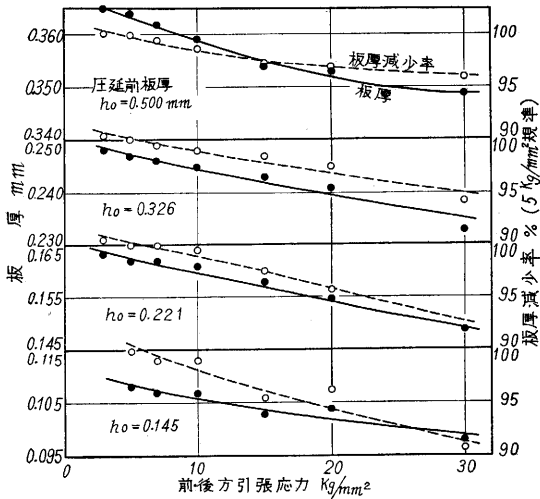
第2-4表 平均圧延圧力低下率 %

圧下率 %	前・後方引張応力						
	3	5	7	10	15	20	30
25	103.2	100	96.9	93.6	83.8	80.0	—
50	101.5	100	98.2	96.0	91.0	87.4	76.4
75	102.1	100	97.0	94.0	91.8	88.5	79.3

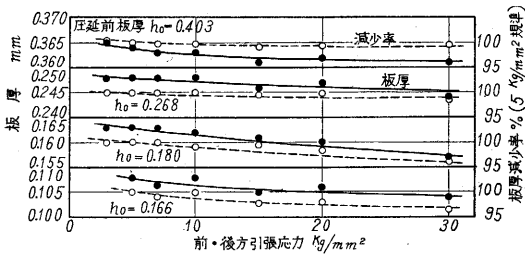
の低下率を、応力 5 kg/mm<sup>2</sup> の場合を規準にして求めた値である。図および表から張力の増加とともに平均圧延圧力は低下する傾向を示しているが、0.1% C 鋼の場合に比較して低下率は見掛けの上では小さい。

張力が板厚に及ぼす影響を、第2-14, 15図に示す。第2-14図は3スタンド連続圧延における板厚の変化で、第2-15図は3号機のみにおける板厚変化をIでのべたと同じ操作で計算して求めたものである。両図において、板厚の薄い場合の方が張力の影響が大きい傾向を示し、また連続圧延の場合の方が、板厚変化が大きい。これは3スタンドにおける張力の影響が総合して現われてきたためである。なお張力が板厚に及ぼす影響も0.1% C 鋼の場合に比較して小さい。この原因については後で検討するが、両材料の降伏強度の相違によるものであろう。

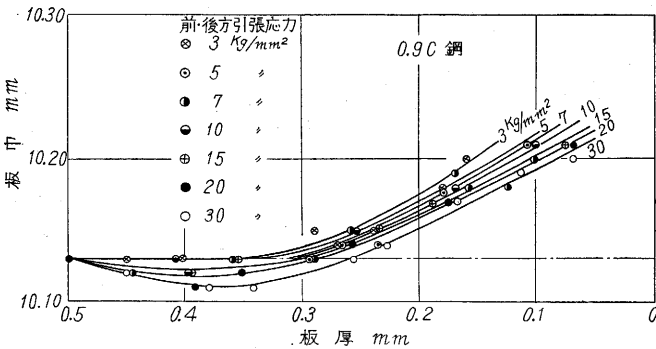
張力が板幅に及ぼす影響を第2-16図に示す。図は板幅—板厚曲線で表わしてある。張力の増加により板の幅拡がり減少する傾向は明らかである。張力が大きく15kg/mm<sup>2</sup> 以上の場合には、加工の初期に板幅は加工前の板幅より減少し、加工度がある値に達すると加工前の板幅より増加する傾向を示している。



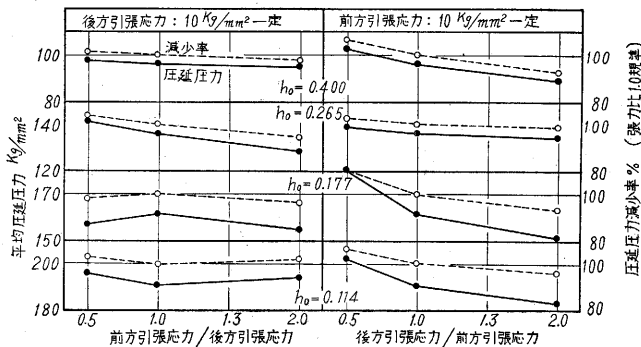
第 2-14 図 連続圧延における張力の影響



第 2-15 図 3号機における張力の影響



第 2-16 図 板幅に及ぼす影響



第 2-17 図 前・後方張力の影響

第 2-5 表 幅拡がり開始圧下率

前後方引張応力 kg/mm <sup>2</sup>	3	5	7	10	15	20	30
幅拡がり開始 圧下率 %	29.0	32.6	37.0	39.0	40.6	42.8	47.5

張力が 15kg/mm<sup>2</sup> 以下の場合には、加工初期には板幅は加工前の板幅と等しく、その後増加している。板幅が加工前板幅より増加を始める圧下率を第 2-5 表に示す。

(b) 前・後方引張応力が相違する場合

0.1% C 鋼の場合と同じ方法で、前方張力と後方張力が平均圧延圧力、板厚、板幅に及ぼす影響を検討した。

前・後方張力が平均圧延圧力に及ぼす影響を、第 2-17 図に示す。0.1% C 鋼の場合と同様に、後方張力の方が前方張力より平均圧延圧力に及ぼす影響が大きく、また板厚が厚いほど影響が大きい。しかし圧延圧力の低下率は、0.1% C 鋼の場合よりも見掛け上は少ない。

板厚に及ぼす影響は第 2-18 図に示す。前方張力が板厚に及ぼす影響は非常に小さく、ほとんど変化が認められない。前方張力の増加により板厚が増加した結果もあるが、これは測定誤差であろう。後方張力が板厚に及ぼす影響は前方張力の影響よりも大きい、0.1% C 鋼の場合に比較すれば非常に小さい。

なお板幅は、測定した範囲では相違が認められなかった。これは張力の変化による板厚の変化も非常に小さいことから考えて当然の結果である。

3-2 圧延速度の影響

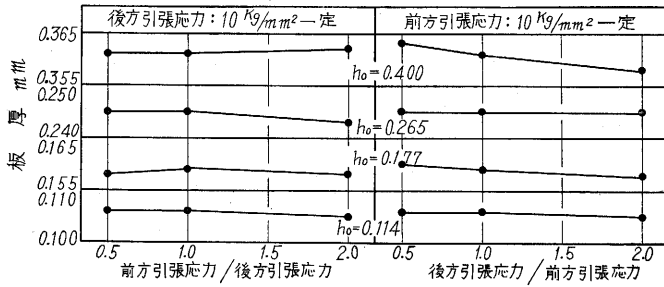
圧延速度が平均圧延圧力に及ぼす影響を第 2-19 図に示す。前・後方引張応力を 5 kg/mm<sup>2</sup> で一定にして測定した値である。

0.1% C 鋼の場合と同様に、圧延速度が平均圧延圧力に及ぼす影響は認められない。これは 0.1% C 鋼の場合にのべたと同じ理由によると思われる。なお圧延速度の変化による板厚、板幅の相違も認められなかった。

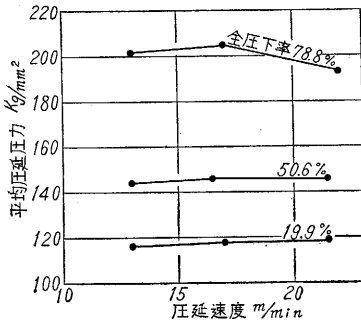
III. 0.1% C, 0.9% C 鋼の実験結果の比較

I, II において、0.1% C, 0.9% C 鋼について 1 パス圧下率、前・後方張力、圧延速度の 3 条件が、平均圧延圧力、板厚、板幅に及ぼす影響を検討したが、III においては 0.1% C, 0.9% C 鋼の平均圧延圧力、板厚に及ぼす、前記 3 圧延条件の影響を比較する。

前記 3 条件の中、1 パス圧下率の影響は、0.9% C 鋼の実験では完全に行っていないので、比較することができない。また圧延速度の影響は両種鋼において認められなかったため、比較の必要はない。したがって本項では 3 条件中最も影響の大きかった前・後方張力



第2-18図 前・後方張力の影響



第2-19図 圧延速度の影響

の影響に重点を  
おいて比較・検  
討することにし  
た。

1. 平均圧延  
圧力—圧下率  
1パス圧下率  
10%の場合の平均  
圧延圧力—圧  
下率曲線を、0.1  
%C、0.9% C鋼

についてそれぞれ第2-1、2-12図に示した。両者の著しい相違は平均圧延圧力値であり、0.9% C鋼が同一圧下率ではるかに高い値を示している。鋼種の相違した場合平均圧延圧力—圧下率曲線に影響を及ぼす因子は、材料の変形抵抗とロールと材料の摩擦係数である。しかし後者はロール、潤滑剤が同一であり大幅に変化することは考えられない。したがって平均圧延圧力の相違は材料の変形抵抗の相違により生じたものと思われる。

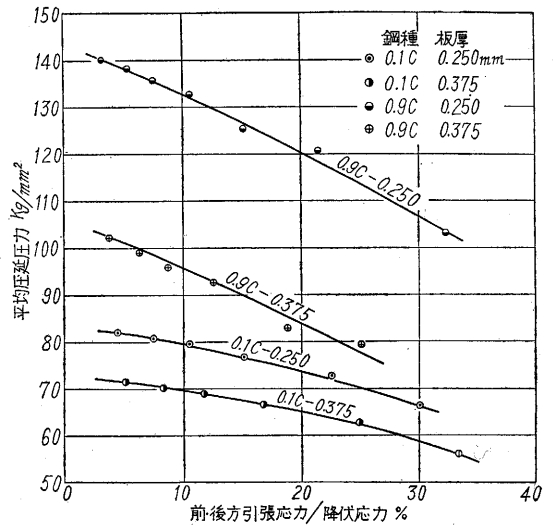
2. 前・後方張力

実験を行なった0.1% C鋼、0.9% C鋼の場合、前・後方張力が平均圧延圧力、板厚、板幅に及ぼす影響は、定性的には等しかったが定量的には相違した。この原因は両材料の降伏強さの相違によると結論したが、本項では降伏強さを考慮に入れて前・後方引張応力が等しい場合の張力の影響を検討する。

第2-20図は縦軸に平均圧延圧力、横軸に前・後方引張応力と降伏応力の比をとり、平均圧延圧力に及ぼす張力の影響を示した図である。板厚は0.1% C、0.9% C鋼の両場合とも、0.25、0.375 mmの2種（圧下率は相違する）である。降伏応力は各板厚の場合において、圧延前後の板厚における降伏応力を、後掲する第3-1、2図からそれぞれ求めて平均した値を使用した。

第2-20図より前・後方引張応力と降伏応力の比が、0.03における平均圧延圧力を求め、この値を基準として各張力値の平均圧延圧力

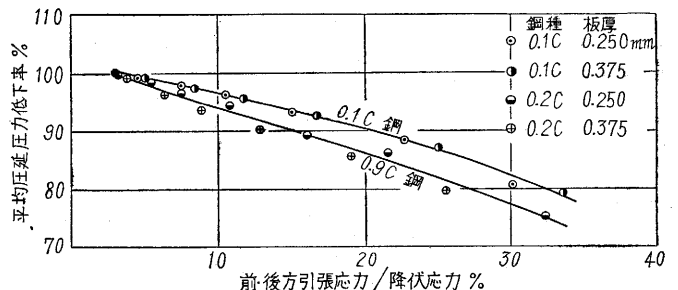
の低下率を計算し、第2-21図に示した。図から平均圧延圧力に及ぼす張力の影響は、0.1% C、0.9% C鋼の両場合とも板厚圧下率にかかわらずほぼ1本の曲線で表わすことができ、張力の影響は0.1% C鋼より0.9% C鋼の方が大きかった。この比較は2種の板厚に限定して行なったが、I、IIでのべた圧延実験では前・後方引張応力値が等しい場合に、板厚の厚い方が張力の影響が大きい結果をえた。板厚が厚い場合は、材料の圧下率が小さ



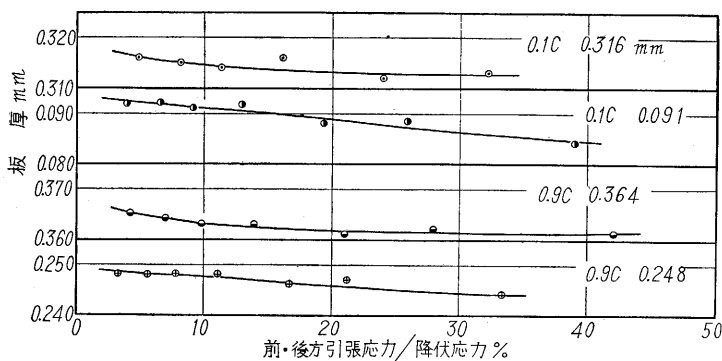
第2-20図 平均圧延圧力に及ぼす張力の影響

い場合であり、降伏応力も小さいので同一引張応力に対しては前・後方引張応力と降伏応力の比は大きくなる。したがって板厚の厚い場合にも第2-21図の曲線上にのると思われ、平均圧延圧力に及ぼす影響は降伏応力を考慮に入れば、板厚にかかわらず1本の曲線で表わすことができるかと推論できる。

第2-22、23図は同様の手法により、張力が板厚に及ぼす影響を示した。板厚に及ぼす影響は3号機における測定結果により比較した。連続圧延の場合は各スタンドの影響が総合して表われ、しかも各スタンドにおける材料



第2-21図 圧延圧力低下率に及ぼす張力の影響



第 2-22 図 板厚に及ぼす張力の影響

の降伏応力が相違するため、複雑な現象となり解析が困難である。

第 2-23 図に示すように板厚の減少率は鋼種あるいは板厚、圧下率にかかわらず 1 例をのぞいてほぼ一本の曲線で表わすことができた。板厚の減少は圧延機のバネ係数を介して、圧下力と直線的関係がある。したがって板厚の薄い場合ほど同一圧下力値の変化に対して板厚減少率は大きくなる筈であり、I、II の実験にも

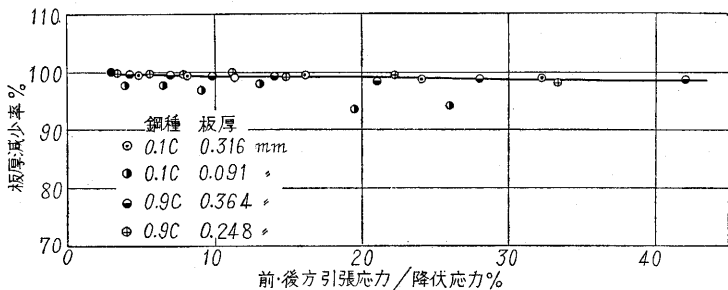
この傾向は表われていた。本実験の場合圧下力の張力による変化は、張力を加えたことにより圧延出口板厚が変化するので、同一圧下率条件で求めることができなかったため、圧下力の減少率が明らかでない。また板厚の減少率は小さくほぼ 100~98% の間であり、板厚測定誤差が減少率に大きな影響を及ぼすので、この結果のみでは張力が板厚に及ぼす影響の結論を出すことはできない。

なお前・後方引張応力が相違する場合についても検討を行なったが、測定点が少ないため明らかな結論をだすことはできなかった。

### 第 2 部 総括

0.1% C、0.9% C 鋼について連続圧延実験を行ない、1パス圧下率、前・後方張力、圧延速度が平均圧延圧力、板厚、板幅に及ぼす影響を検討し、次の結果をえた。

- 0.1% C 鋼の場合、1パス圧下率が大きいほど平均圧延圧力は増大し、また板の幅拡がりも増加する。
- 前・後方張力の平均圧延圧力に及ぼす影響は 0.1% C、0.9% C 鋼の両場合とも定性的には等しい。平均



第 2-23 図 板厚減少率に及ぼす張力の影響

- 板幅の幅拡がり張力の増加とともに減少する。1パス圧下率10%の場合には、0.1% C 鋼では幅拡がりは認められず減少した。また0.9% C 鋼の場合には張力により幅拡がりを生ずる圧下率が相違し、張力の大きい場合には板幅は最初減少し、ある圧下率に達すると幅拡がりを示した。

5. 前方と後方張力を変えて張力が平均圧延圧力、板厚に及ぼす影響を検討した結果、前方張力あるいは後方張力の増加により、平均圧延圧力は低下し、板厚は減少するが、後方張力の影響の方が大きい。

6. 両鋼種について、13~22m/min に圧延速度を変化して実験したが、圧延速度はこの程度の速度範囲では平均圧延圧力、板厚に影響を及ぼさないことが判明した。

7. 0.1% C 鋼について、圧延速度 21.8 m/min、1パス圧下率 10%、前・後方張力を各スタンド 5 kg/mm<sup>2</sup> とし、板厚 0.112→0.091 mm まで連続圧延し、約 100m の仕上がり板について板厚を測定したが、板厚誤差は、ほぼ±0.001 mm であった。

## 第 3 部 圧延板の機械的性質

### まえがき

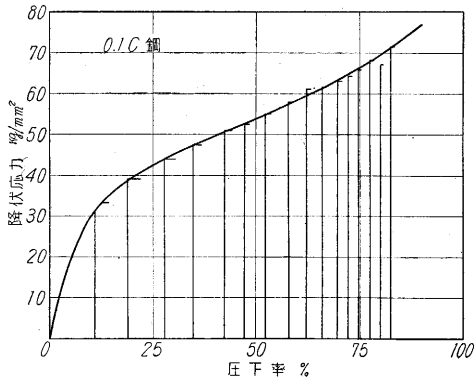
第 2 部において圧延条件が平均圧延圧力、仕上がり板の寸法におよぼす影響を検討したが、本第 2 部において圧延条件を変えて圧延した仕上がり板の機械的性質を検討したものである。

すなわち圧延条件が相違する板について、引張試験と

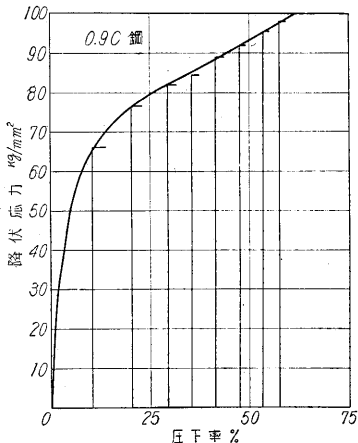
硬度試験を行ない、引張強さ、伸び、硬度におよぼすパス圧下率、前・後方張力、圧延速度の影響を検討した。

#### 1. 降伏応力—圧下率曲線

材料の加工硬化特性を求めめるため、2種の鋼の降伏応力—圧下率曲線を求めた。材料が板材であり、一本の板で加工度の大きい部分の降伏応力を求めることができない



第3-1図 0.1% C鋼塑性変形曲線

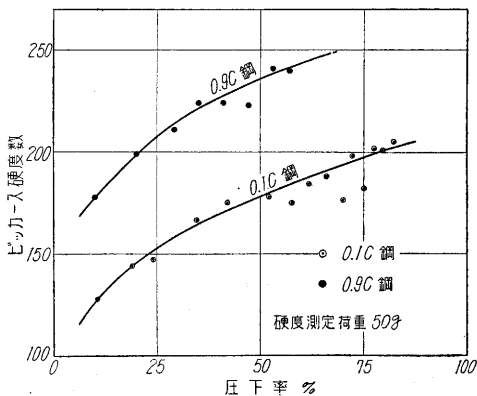


第3-2図 0.9% C鋼塑性変形曲線

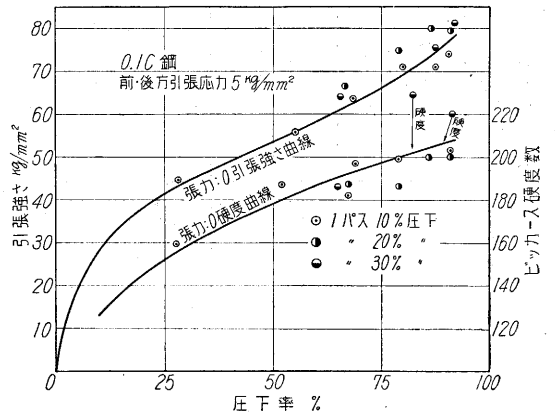
いので、板を各パス10%で張力を加えず圧延して加工度の相違する板を用意し、この板を引張試験して降伏応力を求めた。第3-1, 2図にそれぞれ0.1% C, 0.9% C鋼の降伏応力—圧下率曲線を示す。図には引張試験で求めた応力—

伸曲線も同時に記入してある。引張試験には300kg ショップ型引張試験機を使用した。なお両材料とも最初は完全焼鈍状態である。引張試験用資料について硬度試験を行なった結果を、第3-3図に示す。硬度はマイクロピッカース硬度計を使用し、荷重50gで測定した値である。測定点にバラツキはあるが、硬度と圧下率の関係はほぼ図に示した曲線で表わされると思われる。圧下率の増加に伴う硬度増加は降伏応力の増加とほぼ同様の傾向を示している。

2. 1パス圧下率の影響



第3-3図 硬度—圧下率曲線



第3-4図 1パス圧下率の影響

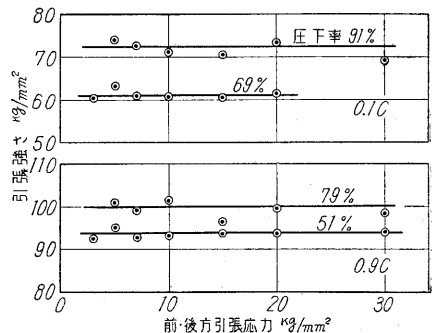
0.1% C鋼について1パス圧下率が引張強さおよび硬度におよぼす影響について検討する。

第3-4図は圧延速度13m/min, 前・後方引張応力は各スタンド5kg/mm<sup>2</sup>にして、1パス圧下率を10, 20, 30%に変えて圧延した板材の引張試験・硬度試験結果を示している。測定は前項にのべた試験機を使用した。図から1パス圧下率の大きいほど引張強さが大きい傾向もあるが、硬度は逆の傾向を示している。同一材料においては硬度と引張強さは比例する筈であり、したがって、この結果から1パス圧下率の影響を断定することはできずむしろ1パス圧下率の影響は認められないと結論するのが妥当であろう。なお引張試験において、伸びの測定も行なったが、伸びは記録により求めたためチャックの噛込みによる伸びも同時に記録され、バラツキが非常に多かった。しかし伸びも1パス圧下率により相違する傾向は明瞭には認められなかった。

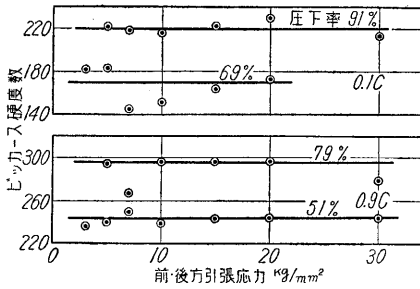
3. 前・後方張力の影響

0.1% C, 0.9% C鋼について、前・後方引張応力を等しくして圧延した試料の引張および硬度試験結果を、第3-5, 6図に示す。圧下率をそれぞれの鋼種について2種えらんで検討した。図から明らかなように、鋼種・圧下率にかかわらず張力は引張強さおよび硬度に影響を及ぼしていない。

前方と後方引張応力が相違する場合の板材についても



第3-5図 引張強さに及ぼす張力の影響



第 3-6 図 硬度に及ぼす張力の影響

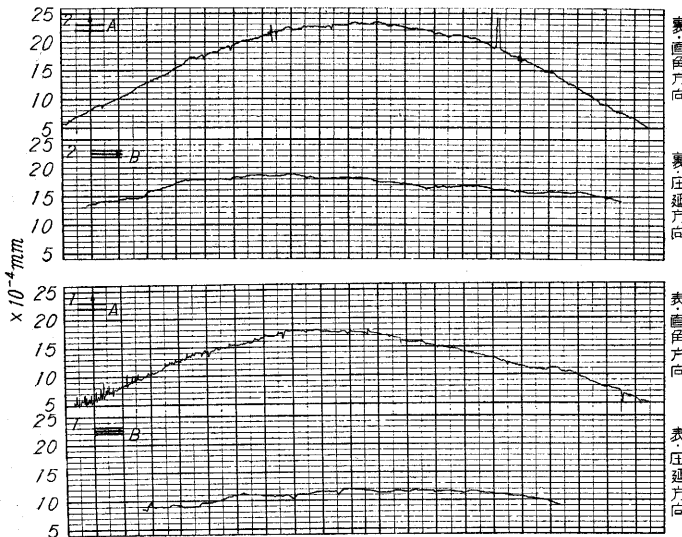
同様の試験を行なったが、張力が引張強さ硬度におよぼす影響は認められなかった。

4. 圧延速度の影響

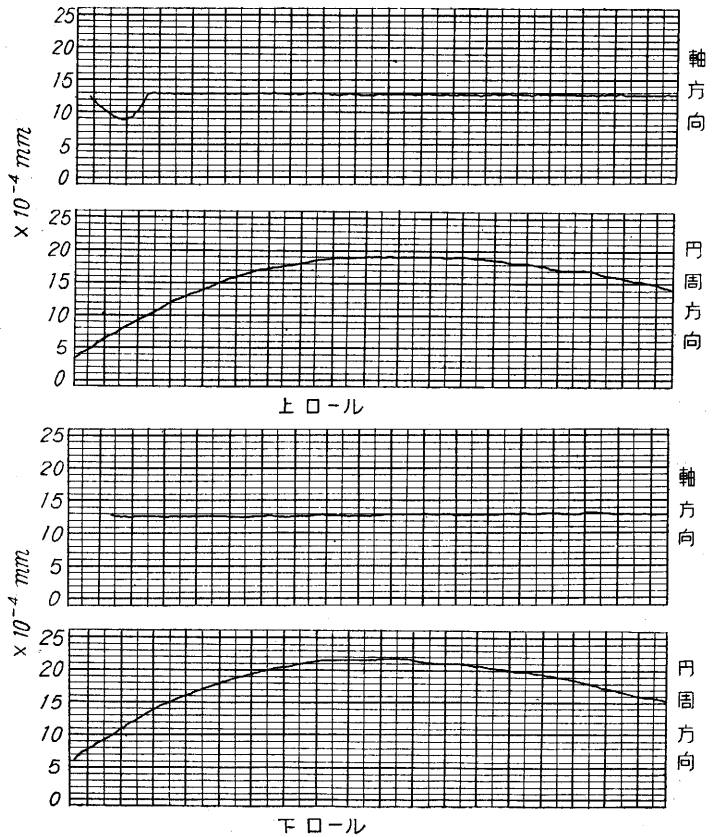
張力を一定にして、圧延速度を変化して圧延した板について、引張および硬度試験を行なったが、圧延速度の変化による引張強さ、硬度の変化はなかった。圧延速度は第 2 部でのべたように、平均圧延圧力、板厚にも影響をおよぼさないの、板の機械的性質が変化しないのは当然である。

5. 板の表面粗さ

0.1% C 鋼について、圧延条件を一定にし、1 mm → 0.091 mm に圧延した板の表面粗さを測定した。測定に使用した試験機は Taylor-Hobson の表面粗さ計 (Model III) である。測定結果は、第 3-7 図に示してある。測定倍率は X 方向—100 倍、Y 方向—20,000 倍である。粗さ測定は板の表裏両面について行ない、第 3-7 図にそれぞれ表は(1)、裏は(2)の記号で示してある。また記号 A は板の圧延方向と直角方向に測定したデータであり B は圧延方向に測定したデータである。なお圧延と直角



第 3-7 図 板の表面粗さ



第 3-8 図 ワークロール表面粗さ

方向のデータは測定結果に大きな曲がりを見せているがこれは測定時の板の取付法によるものである。

測定の結果、板の表面の凹凸は、0.05μm の範囲である。裏面の表面粗さは表よりも悪いが、これは圧延時、板と巻取ドラムでスリップを生じ、板が軟鋼板であるため疵を生じたためと思われる。

以上の結果板の表面は非常に良好な結果を示した。板の表面状態に直接影響するのはワークロールの表面状態である。したがって本圧延機のワークロールの仕上が非常に良好であったということが出来る。ワークロールの表面粗さを同じ測定器で測定した結果を、第 3-8 図に示すが、予想されたように表面状態は非常によかった。

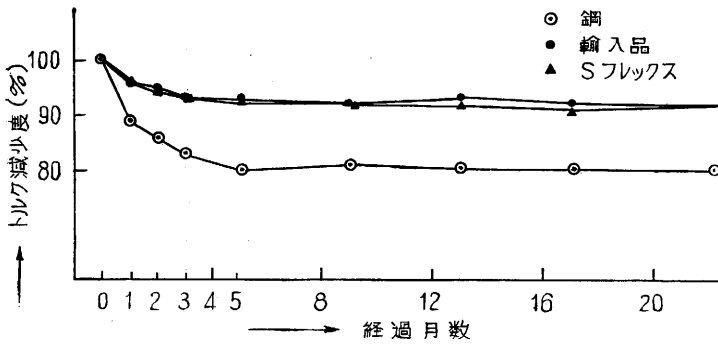
なおロール面は研磨直後の測定結果であり材料面は、このロールで 1 週間以上圧延した後の試料である。圧延後の板の表面状態が非常に良好であったため、引張試験を行なった試片に迂り帯が明瞭に観察する事ができた。

第 3 部 総括

1. 降伏応力—圧下率および硬度—圧下率



製造加工を行なっても取扱い中に生じた微細な発錆により破断したり、特に湿度や汗等による発錆のため破断し

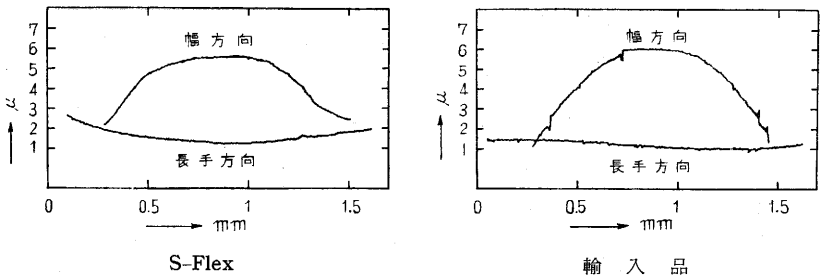


第13図 ヘタリ試験結果

たことは前述のとおりであるが、S-Flex はなんら特別の対策処置を行なうことなく加工しても全然錆を生じないので発錆による不良品や破断は皆無である。

また強酸・強アルカリ等の温浴に長時間浸漬しても耐触性に富んでおり美しい光沢は少しも失われない。

S-Flexは高純度のコバルト・ニッケル・クロームその他の原料を真空溶解炉によって溶解を行なう。大気中で溶解を行なうと熔融金属中の含有ガスや微量な不純物等のために、熱間、冷間の加工性を阻害し材質を劣化させる上に、溶解インゴットごとに材質のムラを生じ、完全な管理状態で製造できないので、真空溶解法を採用している。加工工程中特異な点は不錆系の多元合金であるため他のいかなる多元合金よりも熱間、冷間加工とも困難を極めているので、狭範囲の管理限界を設定し加工を行なっている。特に高弾性率の材料の材質を得るために冷間線引と冷間圧延と熱処理を組合



第14図 ゼンマイの表面粗さ (大きな曲がりとは測定時の試片の彎曲である)

わせ繰返し加工を行なっているが、冷間線引においては市中のいかなる機械を使用しても伸線することができなかったが、東大鈴木弘博博士の指導、設計された逆張力式5頭連続伸線機によって加工が可能となった。製品仕上り寸法精度については前述のようにゼンマイの性能を大きく左右するので、インゴット、同一ロット内の材料を均一加工し加工歴を一様にするために、各作業とも最新式の自動制御機構を装備した機械を採用して厳重な品質管理のもとに生産が行なわれている。冷間圧延された材料の表面は第14図のように輸入品よりはるかに優秀であり、したがって香箱車内にセットされた場合にゼンマイの表面は摩擦が少ないのでトルク曲線の乱れはない。冷間加工中熱処理はすべて真空熱処理炉で処理されるので、熱管理、真空管理とも重要な管理項目として取り扱っている。

6. むすび

ゼンマイ材料の塑性加工、機械加工に伴う治工具の損

耗、製作寸法もすべて1μ以下がゼンマイ性能の良否を決定する重要な因子となっているために、整備にもまた細心の注意と関心を払っている。(1959.9.11)

(49 ページよりつづく)

曲線を圧延と引張法により求め、両曲線がほぼ同様の傾向を示すことを明らかにした。

2. 圧延条件を変えて圧延した板について、引張および硬度試験を行ない、0.1% C、0.9% C 鋼においては実験を行なった圧延条件範囲では、1パス圧下率、前・後

むすび

以上の実験を終わり測定要素あるいは圧延条件に不備な点もあったが、一応初期の目的を満足したと思っている。圧延機の調整に与えられた時間のほとんど大部分をさいたため時間的余裕がなく、本文は実験結果を紹介するにとどまったが、本実験結果をもとにした理論的解析は今後の機会にゆずりたい。

本圧延機はその性能上、また機構上わが国においてまったく最初の試みであって、この圧延機が数カ月という

方張力、圧延速度は圧延後の板の引張強さ、硬度に影響をおよぼさないことを明らかにした。

3. 0.1% C 鋼について1mm→0.091mmまで、圧延条件を一定にして圧延し、圧延後の板の表面粗さを測定した結果、板の表面の凹凸は±0.5μの範囲内であった。

きわめて短期間で予期以上の性能をうることができたのは第二精工舎を初め関係各社の熱意ある協力によるものであり、深く感謝する。

なお本圧延機は実験結果を採り入れて一部改造の上すでに実際の生産に稼動中であり、本圧延機によるいわゆる“さびない”時計用動力ゼンマイが、続々生産されつつあることを付記しておく。(1959.9.25)