
冷延調質圧延機における伸び率制御について

Automatic Elongation Control in Cold Temper Rolling Mill

佐々木 徹(Toru Sasaki) 岸田 朗(Akira Kishida) 小田島 昭雄(Akio Odajima)

要旨：

調質圧延の伸び率が冷延鋼板の加工性、形状性、歪時効性を決定する。筆者らは、4 High シングルスタンド調質圧延機の建設にあたり、この伸び率の自動制御システムを次の考えに基づき設計した。(1)ミル定数可変ミルで soft mill modulus 制御を行ない、母板の板厚変動、圧延機のロール偏心による伸び率変動を小さくする。(2)鋼板の材質むら、表面状況の変化による伸び率変動を伸び率計からのフィードバック信号で soft mill modulus 制御の設定値を変更することにより修正する。(3)加減速時に発生する伸び率変化は、圧延速度の関数としてプログラム制御で補償する。1969 年 3 月にこの調質圧延機は稼働し、この制御システムにより次のような成果が得られた。(1)全品種にわたって完全に実施しており、圧延速度 50m/min 以上において、自動制御されている。(2)コイル全長の 96~99%は伸び率偏差 $\pm 0.1\%$ 以内に入る。(3)オペレータの伸び率監視の作業がまったく不要になり、もっぱらよい形状、よい表面の鋼板を得るための操作を行なえるようになった。

Synopsis：

The elongation of the cold strip in the temper rolling process has a decisive effect on its formability, shape fixability, and strain aging characteristics. The authors designed an automatic control system of this elongation for a single stand for high cold temper rolling mill, based upon the following conceptions. (1) The fluctuations of the elongation in temper rolling due to thickness deviations and to the eccentricity of the rolls of the mill are kept minimum by a soft mill modulus control. (2) The fluctuations of the elongation in temper rolling due to changes in hardness and surface conditions are corrected by the cascade control system with the feedback signals from elongation sensors added to the soft mill modulus control system. (3) The fluctuations of the elongation in temper rolling due to changes of the rolling speed during accelerations and decelerations, are cancelled by the feed forward control with the assumption of a functional relation between elongation and speed. The cold temper rolling mill equipped with this elongation control system started operation in March, 1969, and the following results have been obtained. (1) The control system is quite effective for the temper rolling of various kinds of cold strips. The control is performed successfully even at such a slow speed as 50m/min. (2) Checking the data of four months' operation, it was proved

that the deviation of elongation stayed within the range of $\pm 0.1\%$ for 96% to 99% of total length of strip rolled. The figure varies according to the kind of materials and to the thickness. (3) Since no manual work is needed for keeping the elongation within a limit, the operators can concentrate their attention to the control for obtaining the cold strip with better shape and better surface finishing.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

冷延調質圧延機における伸び率制御について

Automatic Elongation Control in Cold Temper Rolling Mill

佐々木 徹*

Toru Sasaki

岸 田 朗**

Akira Kishida

小 田 島 昭 雄***

Akio Odajima

Synopsis:

The elongation of the cold strip in the temper rolling process has a decisive effect on its formability, shape fixability, and strain aging characteristics. The authors designed an automatic control system of this elongation for a single stand four high cold temper rolling mill, based upon the following conceptions.

- (1) The fluctuations of the elongation in temper rolling due to thickness deviations and to the eccentricity of the rolls of the mill are kept minimum by a soft mill modulus control.
- (2) The fluctuations of the elongation in temper rolling due to changes in hardness and surface conditions are corrected by the cascade control system with the feedback signals from elongation sensors added to the soft mill modulus control system.
- (3) The fluctuations of the elongation in temper rolling due to changes of the rolling speed during accelerations and decelerations, are cancelled by the feed forward control with the assumption of a functional relation between elongation and speed.

The cold temper rolling mill equipped with this elongation control system started operation in March, 1969, and the following results have been obtained.

- (1) The control system is quite effective for the temper rolling of various kinds of cold strips. The control is performed successfully even at such a slow speed as 50 m/min..
- (2) Checking the data of four months' operation, it was proved that the deviation of elongation stayed within the range of $\pm 0.1\%$ for 96% to 99% of total length of strip rolled. The figure varies according to the kind of materials and to the thickness.
- (3) Since no manual work is needed for keeping the elongation within a limit, the operators can concentrate their attention to the control for obtaining the cold strip with better shape and better surface finishing.

1. ま え が き

調質圧延工程は冷延鋼板製造過程での最終仕上げ工程であり、次のことを目的としている。

- (1) 表面を美しく仕上げる

(2) 良い形状に仕上げる

(3) 使用目的にあった機械的性質を与える

このうち(3)の機械的性質を決定する主因子は調質圧延伸び率であり、この制御には、古くはストリップ上の標点間距離の伸長を測定し、圧延荷重を決定する方法、最近では伸び率計を見ながら圧

* 技術研究所水島研究室主任研究員

** 水島製鉄所第二圧延部冷圧課

*** 水島製鉄所管理部計測課

延荷重などを調整する方法がとられてきた。しかし、圧延中、鋼板の表面状態の観察や良好な形状の維持のための操作と並行して、伸び率を監視することはオペレータに非常に高い熟練度を要求することになる。とくに加減速時に形状と、表面欠陥の観察に目を奪われて、伸び率が基準からはずれることが多く、このため材質上の問題の発生を避けることができなかった。

そこで当社水島製鉄所の調質圧延機の建設に当って、つねに適正な調質圧延伸び率を鋼板に与えるよう、伸び率自動制御の実用化を前提として設備計画を進め、目的とした成果が十分得られたので、ここにその検討事項と稼動状況についてまとめた。

2. 予備的な検討事項

2.1 適正伸び率の検討

材質上冷延鋼板に要求される点は、一般に加工性がよく、かつストレッチャーストレイン (stretch strain) が発生しないことである。このためには調質圧延伸び率が適正であることが必要である。

そこで板厚 2.3 mm の低炭素リムド冷延鋼板 (SPCC) を用いて、調質圧延伸び率による製品の機械的性質の変化を調べ適正伸び率について検討した。焼鈍後のコイル鋼塊中央部相当を長さ 30 m にわたって圧延荷量を漸増させて調質圧延し、伸び率を 0 % から 3 % の間で連続的に変化させた。この方法によれば、ほぼ同一の素材で伸び率による材質の変化を知ることができる。試料の化学成分およびフェライト結晶粒度を Table 1 に示す。

Table 1 Chemical composition and grain size of specimens (wt %)

Elongation (%)	C	Mn	P	S	O	N	Grain size (JIS No.)
0	0.045	0.30	0.005	0.016	0.0139	0.0022	8.5
1.9	0.043	0.31	0.004	0.015	0.0141	0.0024	8.4
3.0	0.047	0.30	0.004	0.014	0.0157	0.0021	8.8

Fig. 1 に H_B 硬さの伸び率による変化を示し、Fig. 2 に調質圧延後室温で 1 週間放置した試料の圧延方向 (L 方向) と圧延直角方向 (C 方向) の降伏点、引張強さ、全伸びおよび降伏点伸びの伸び率による変化を示す。Fig. 1 より硬さは伸び率の少いところでいったん減少するがあとは一様に増加することがわかる。Fig. 2 より伸び率増加にしたがい上降伏点は極小点をもつ曲線になり、引張強さは漸増し、全伸びは漸減し、降伏点伸びは指数関数的に減少することがわかる。さらに L 方向と C 方向の異方性が確認され、とくに降伏点と降伏点伸びに注目すれば同一の調質圧延伸び率ではつねに C 方向の値が大きい。したがって最小の降伏点を与える調質圧延伸び率は C 方向の方が大きいことがわかる。このような異方性の原因は調質圧延が材料に無数の塑性変形領域 (変形帯、リュードース帯) を導入し¹⁾²⁾、これらの変形帯が C 方向に長く伸びているので引張方向によってリュードース前線の発生数が異なり、L 方向に引張った場合の方が多数の前線が働くためである。(有効に働くリュードース前線の数が多いほど降伏点、降伏点伸びは小さくなる³⁾)

つぎに調質圧延後のひずみ時効による C 方向の引張試験値が、付与した伸び率によってどのように変化するかを調べた。Fig. 3 に室温で 3 日間、1 ケ月間、3 ケ月間時効した後の結果を示す。この図から時効が進むにつれて降伏点は上昇し、付与した伸び率の効果が少なくなること、降伏点伸

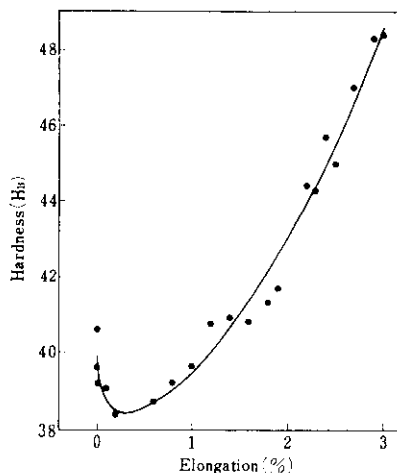


Fig. 1 Effect of elongation of temper rolling on hardness (H_B)

びは伸び率が大きいほど時効による回復が遅いこと、引張強さと全伸びは時効が進むにつれて伸び率の影響が大きくなること、などがわかる。なお Fig. 2, 3 で伸び率0%における値は、試験片作成時に入った coil break の影響が出ている。

上述のように調質圧延伸び率やひずみ時効による材質の変化は著しい。一般に最適伸び率としては、ストレッチャーストレインの防止および加工性の点から、圧延のままで降伏点伸びが0%になる伸び率（ここで降伏点は最小になる）を用いるのが適当と思われる。Fig. 2に示すように、最適伸び率は試験片方向によっても異なりC方向がやや大きくなる。さらに最適伸び率は、母材や圧延条件などによっても変化するであろうが、これに

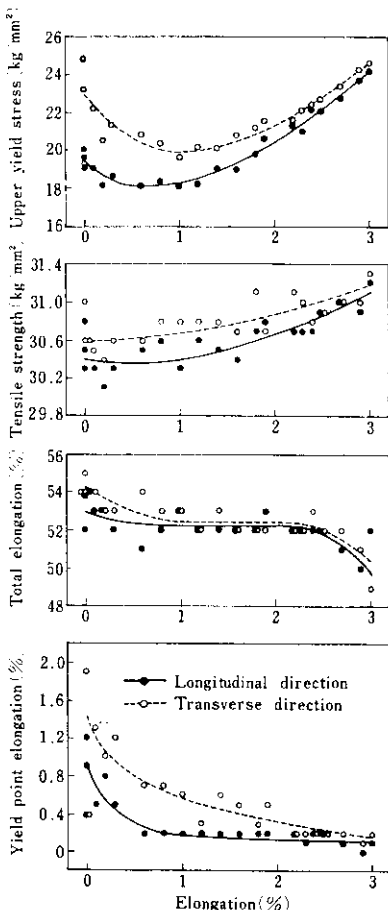


Fig. 2 Longitudinal and transverse direction tensile properties as a function of elongation of temper rolling after 1 week aging at 20°C

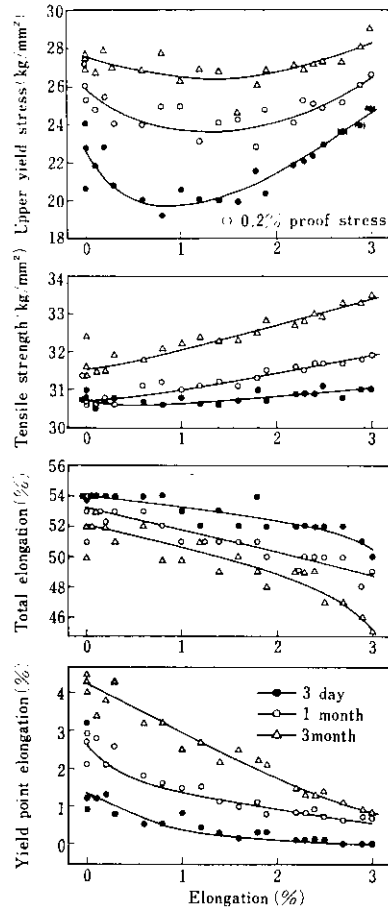


Fig. 3 Effect of aging at 20°C and elongation of temper rolling on transverse direction tensile properties

についての報告はみられない。さらに鋼板の用途によっては、加工性よりも長期間ストレッチャーストレインが発生しないような要求もあるが、その場合には Fig. 3 でわかるように適正伸び率としては最適伸び率よりも大きな値を採用した方が良い。したがって適正伸び率といってもきわめてあいまいな概念になってしまうが、一応上に定義した最適伸び率を考えるべきであろう。

2.2 伸び率制御のための操作変数の決定

伸び率を変化させる原因（変動因子）としては次のようなことなどが考えられる。

(1) 材料に起因するもの

- (a) 製鋼時の偏析による材質むら
- (b) 熱間圧延の巻き取り温度、焼鈍条件に関連する材質むら
- (c) 冷間圧延における厚み変動
- (d) 冷間圧延後の洗浄、焼鈍工程による表面状態の不均一性
- (2) 圧延機自体に起因するもの
 - (a) ロール偏心に起因するもの
 - (b) ロール軸受の油膜厚み変化
 - (c) ロール熱膨張
 - (d) 張力制御系の過渡的変動
- (3) 圧延作業に起因するもの
 - (a) 圧延荷重、ロールベンディング圧の操作
 - (b) 前方、後方張力の操作
 - (c) 圧延速度操作
 - (d) その他

これらの変動因子の実態とこれら各変動因子が伸び率におよぼす影響を調査し、伸び率制御に必要な操作変数として何を選ぶべきかについて検討するため、材料として板厚 2.0 mm、幅 1242 mm の SPCC を用い、当社千葉製鉄所の 80"-4 段シングルスタンド調質圧延機で実験を行なった。

主な実験結果をあげると次のとおりであった。

- (1) 母材の板厚、材質および表面状態の変化による伸び率変動は大きく、特に溶接点での変動が大きい。
- (2) ロール偏心の伸び率におよぼす影響は、伸び率計の特性により記録にはほとんど表われないが、圧延荷重には顕著に表われる。
- (3) 低速圧延時 (0~200 m/min) には、速度をあげると伸び率は低下する。
- (4) 圧延荷重を 130 t から 430 t に変化させると、伸び率は 0.3 % から 0.65 % にほぼ直線的に変わったが、張力を変えても伸び率はほとんど変わらない。

これらの結果のうち(1)に対しては圧下応答性の高い圧延機を選ぶこと、(2)に対してはロール偏心の影響を受けにくい圧延機を選ぶこと、(3)に対しては速度による伸び率変化の補償を行なうことで対処できると考えられた。したがって伸び率制御に必要な操作変数として圧延荷重を採用することにした。

2.3 伸び率許容変動量の決定

通常の操業では、規格と板厚によってあらかじめ決められた一定の伸び率でコイル全長を圧延する。最適伸び率は母材の材質によって変化するので偏析などを考えれば、コイル内の適正伸び率は一定ではない。たとえば板厚 0.8 mm の SPCC コイルの最適伸び率の測定を行なった結果、鋼塊頭部相当で 0.87 %、中央部相当で 0.80 %、底部相当で 0.75 % であった。しかしその差はあまり大きくないので鋼塊中央部に対する適正值をコイル全長に適用することができるものと思われる。このような適正伸び率（あるいは指定された伸び率）の定値制御を行なおうとする場合、コイル内での変動をどの位の範囲におさえなければならないかについて検討した結果、次の点をも勘案して指定伸び率からの制御許容差を $\pm 0.1\%$ と定めた。

- (1) Fig. 1, 2, 3 に示すように調質圧延伸び率 0.2 % の変化に対する機械的性質の変化はあまり小さくなく、使用に際し十分に許容される範囲にある。
- (2) 伸び率制御により圧延荷重が変動し形状が乱れるので、ロールベンディング装置を使用して矯正しなければならない。伸び率の許容差が小さいとロールベンディング圧の制限から形状を矯正しきれない場合がある。そのためにロールイニシャルクラウンを変更する必要がある、作業能率の低下や保有すべきロール本数の増加などの不都合が生ずる。

3. 伸び率制御システムの検討

前項にのべた予備的検討事項を前提として、伸び率制御のシステム、各個の構成機器の設計に関して検討した結果をのべる。

3.1 伸び率制御システムの基本設計

2.2 の結果をもとにして、伸び率制御の基本システムは次のようにするのが最適であると判断した。

- (1) 材料の厚み変動、ロール偏心に対処するために圧下応答性の速い油圧圧下機構を有する

圧延機により、圧延荷重一定制御を行なうか、またはミル常数を可変にしてそれを小さくして制御を行なうかのいずれかである。

- (2) 材質、表面状況などの比較的ゆるやかな変動に対しては、伸び率計からのフィードバック信号を油圧圧下制御系へカスケードに投入して伸び率制御を行なわせる。
- (3) 加減速時の伸び率変動は、ロール軸受油膜の変化、ストリップとロール間の摩擦抵抗の変化、ひずみ速度による材料特性の変化などが原因であるが、これに対してはあらかじめ実験式を求めてフィードフォワードにプログラム制御を行なわせる。

以上の検討結果、圧延機として石川島播磨重工のS N式油圧圧下ミルを採用することにした。

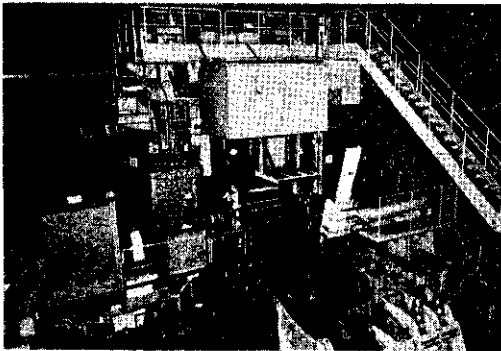


Photo. 1 View of the delivery side of No. 1 temper rolling mill

当圧延機的主要仕様は次のとおりで、Photo. 1に稼働中の写真を示す。

- | | |
|---------------|------------------|
| (1) 圧延材料厚さ | 0.25~3.2 mm |
| (2) 圧延材料幅 | 600~1600 mm |
| (3) コイル外径 | 915~2650 mm |
| (4) コイル重量 | 50 t (最大) |
| (5) ロール径および胴長 | |
| ワークロール | 585 mmφ×1680 mm |
| バックアップロール | 1520 mmφ×1730 mm |
| (6) 圧延速度 | 1000 m/min (最高) |

3.2 伸び率計の選定

伸び率計に要求されることは、精度、信頼性、較正（調整）の容易さである。一般に使われてい

る伸び率計の形式は2つあり、入側、出側のブライドルロールの速度比を測定するアナログ式と、あるストリップ測定長ごとに、入側と出側の平均的長さ比を、間接的に測定するデジタル式とがある。

通常アナログ検出器は速度検出端にタコジェネレータを使用するので、低速では出力電圧が低く不安定になり、最高速度の1/10程度では、精度はほとんど保証されていない。それに対してデジタル検出器は、間接測定になる欠点はあるが信頼性は高く較正も容易である。精度上は、圧延速度が高いところではアナログ式がすぐれているが、デジタル式でも±0.05%の精度は確保できる。以上の検討結果デジタル式のものを選定した。伸び率計の仕様は次のとおりである。

- (1) メーカー 富士通株式会社製 RC-311 形
- (2) 測定範囲 0~6 %
- (3) 規定測定長 1.6 m, 3.2 m, 6.4 m
- (4) 精 度 ±0.05 %
- (5) 測定可能ライン速度 40~1000 m/min

なお入側、出側の検出ロールとストリップ間にはすべりが生ずると誤った長さ比を測定することになり正しい伸び率が得られない。このすべりは、とくに低速時からの急激な加速の際に発生しやすい。これを防止するために機械設計上特別の考慮をはらった。

3.3 伸び率制御システムの安定限界の予測

伸び率計が3.2に述べたようにデジタル式であり、サンプリング時間が圧延速度に反比例する間接測定である。したがって、伸び率制御の信号を油圧圧下制御系にカスケードに与える際に、伸び率制御装置の出力信号の平滑化と圧延速度による測定時間の長短に応じた出力信号の調節を考慮しなければならない。それで、伸び率調節器は $\int_0^{t/v} K \cdot v \cdot JG \cdot dt$ (t : 時間, l , v , JG は以下に定める) によって計算される出力信号を油圧圧下系に与えるようにした。

次に油圧圧下制御系を含めた伸び率制御系の安定制御の限界について検討した。

記号を次のように定める

v : 圧延速度 (mm/sec)

- l : 伸び率測定長 (mm)
 Δg : 伸び率の設定値からの変化分
 H : 入側板厚 (mm)
 Δh : 出側板厚の変化分 (mm)
 ΔG : 伸び率の設定値からの平均変化分
 ΔX : 伸び率調節器出力の P_R 換算値 (t)
 K : 伸び率調節器のゲイン
 M : 板の変形抵抗 (t/mm)
 P_R : パー荷重 (t)
 ΔP_R : 圧延荷重変化分 (t)
 K_R : ロール系のバネ定数 (t/mm)
 K_B : パーのバネ定数 (t/mm)
 K_c : 等価ミル定数 (t/mm)
 C : ミル常数変更のための定数

伸び率計によって、 l/v の時間単位に Δg から算出される ΔG は、次の l/v 時間、この値が保持される。次いで ΔG は上述の伸び率調節器の積分操作によって ΔX なる出力に変換され、これによって圧下制御系に ΔP_R の荷重変化が与えられる。

SN式圧延機では等価ミル定数 $K_c = K_R K_B / (K_B - C K_R)$ になるような制御を行なっている⁴⁾が、その応答が充分速いとして系を理想化すればこれらの数値間の関係式は次のようになる。

$$\Delta P_R = \frac{M \cdot K_R}{K_B(M + K_R) - C M K_R} \cdot \Delta X \quad \text{.....(1)}$$

$$\Delta g = -\Delta h / M \quad \text{.....(2)}$$

$$\Delta h = -1/M \cdot \Delta P_R \quad \text{.....(3)}$$

また実際 Δg と ΔG との関係を保伸び率測定時間 (l/v) ごとに分割して考えると Fig. 4 のように

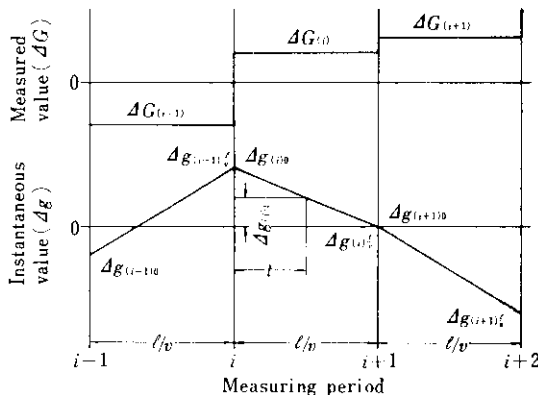


Fig. 4 Relation of measured and instantaneous values in elongation control

なる。

ΔG の定義より

$$\Delta G = 1/l/v \cdot \int_0^{l/v} \Delta g_{(i-1)} dt \quad \text{.....(4)}$$

ここで

$$\Delta g = \frac{K \cdot v}{H} \cdot \frac{K_R}{K_R(M + K_R) - C M K_R} \cdot \int_0^t \Delta G dt \quad \text{.....(5)}$$

境界条件より次の式が成り立つ。

$$\Delta g_{i0} = \Delta g_{(i-1)0} - L \cdot \Delta G_{(i-1)} \quad \text{.....(6)}$$

$$\Delta G_i = \Delta g_{(i-1)0} - L/2 \cdot \Delta G_{(i-1)} \quad \text{.....(7)}$$

ここで L を次のように定義する。

$$L = \frac{Kl}{H} \cdot \frac{K_R}{K_R(M + K_R) - C M K_R} \quad \text{.....(8)}$$

Δg_{i0} が取れんすることが伸び率制御系の安定条件である。したがって (6) 式より

$$\lim_{i \rightarrow \infty} [\Delta g_{i0} - \Delta g_{(i-1)0}] = -L \lim_{i \rightarrow \infty} \Delta G_{(i-1)} = 0 \quad \text{(9)}$$

(6), (7) 式より

$$\Delta G_{(i+1)} - (1 - L/2) \Delta G_i + L/2 \cdot \Delta G_{(i-1)} = 0 \quad \text{.....(10)}$$

となり、この差分方程式を解くことにより制御系の安定限界を得ることができる。

その結果、 $L/2 < 1$ となり、 $M \gg K_R$ であるから

$$K < \frac{2K_B \cdot H \cdot M}{l \cdot K_c} \quad \text{.....(11)}$$

となり、これより次のことがいえる。

- (1) 板厚が大きいほど、伸び率調節器の制御ゲインを高くとることができる。
- (2) 板の変形抵抗が大きいほど、伸び率調節器の制御ゲインを高くとることができる。
- (3) 伸び率測定長が大きいほど、伸び率調節器の制御ゲインを低くしなければならない。
- (4) 等価ミル定数を大きく選ぶほど、伸び率調節器の制御ゲインを低くしなければならない。

3.4 圧延速度による伸び率変化に対する補償

冷間圧延では、圧延速度の上昇につれて、ロール軸受油膜厚さは増加し、材料とロール間の摩擦抵抗が減少し、どちらも材料の板厚を薄くする方向に作用する。しかし調質圧延（伸び率 5% 以下

の冷間圧延)においては、圧延速度の上昇とともに伸び率は小さくなる方向にあり通常の冷間圧延の場合と全く逆の傾向を示す⁵⁾。これは当社千葉製鉄所での実験でも確かめられている。

このような事情を考慮して、伸び率制御をより容易にするために、速度による補償を油圧压下制御系に与えられるようにした。

4. 実験動における検討項目の実情とそれに対する考察

1969年3月、圧延機操業開始とともに伸び率制御の実施テストを行ない、実際の圧延操業に適さないいくつかの不具合点が見い出されその改造を行なった。その結果伸び率制御系のブロック図はFig. 5 のようになった。

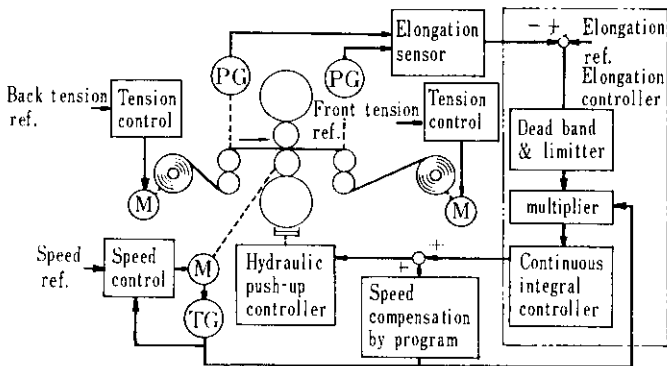


Fig. 5 The block diagram of the elongation control system

計画段階において問題となった応答速度、操作変数の選定、圧延速度効果、ミル定数の選択について検討のため稼動後実験を行なったので、その結果を報告する。そして実際の制御状態の記録と、制御システムの総合的な性能についての統計結果の一例を示す。

4.1 SN式調質圧延材の性能

使用したSN式調質圧延機の压下ステップ応答を調べた結果をFig. 6に示す。実験方法は、上下のロールを接触させた状態において、荷重を300tから550tに変化させた。これによると压下動作の応答がロール間隔を開く場合と閉じる場合とで異なり、開閉時の無駄時間はそれぞれ13.7 msec($13.7 \text{ sec} \times 10^{-3}$)と19.4 msec、压下速度は

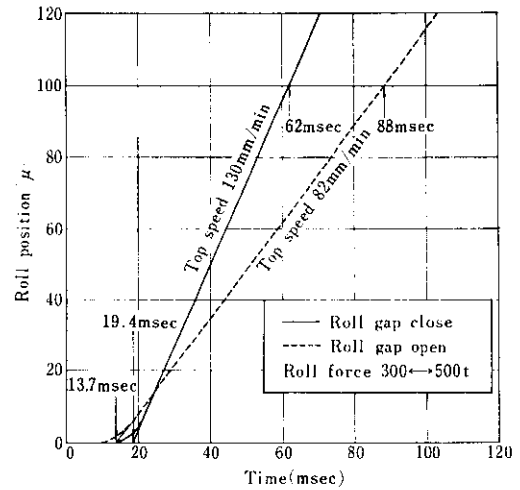


Fig. 6 The step response of the SN type hydraulic mill

82mm/minと130mm/minで、従来の電動压下式圧延機に比べて飛躍的に速くなっていることがわかる。ロール間隔の開閉で压下速度が異なる原因としては、SN式圧延機の油圧回路のサーボバルブ一次圧(入口圧)と二次圧(出口圧)の圧力差により、サーボバルブの流量特性が異なることによるものと考えられる。

次に压下制御の追従性をみるために、正弦波周波数応答の試験を行ない、その結果をFig. 7に示す。これは圧延荷重400tで荷重一定制御において、サーボバルブが飽和

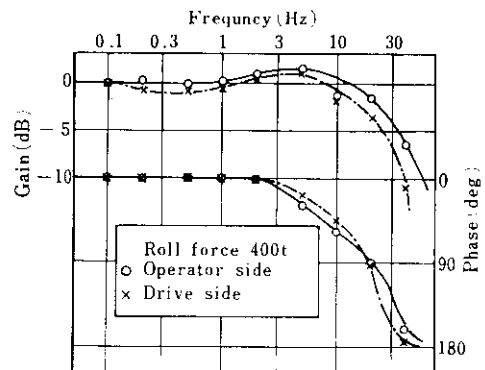


Fig. 7 The frequency response of the hydraulic mill

しない程度の正弦波の外乱を与えて測定したものであり折れ点周波数（ゲインが -3dB 以下になる周波数）は 20 Hz 程度である。これはロール偏心に十分に応答性をもつことを示している。

Fig. 8 にミル定数を4段階に変えた場合の圧延荷重の挙動を示す。使用材は板厚 0.7 mm 、板幅

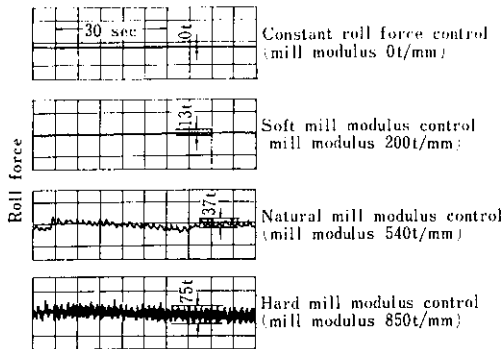


Fig. 8 The influence of eccentricity of rolls in various mill modulus (material : SPCC 0.7 mm thickness $\times 860\text{ mm}$ width, roll force : 400 t , rolling speed : 200 m/min)

860 mm の低炭素リムド鋼で、圧延荷重 400 t 、圧延速度 200 m/min の条件で行なった。Fig. 8 の圧延荷重の周期的な変動はロール偏心によるものと思われる。荷重変化の振幅は、等価ミル定数に比例して増加しており、製品に与える伸び率の局部的な不均一性に対しては、ミル定数を小さく

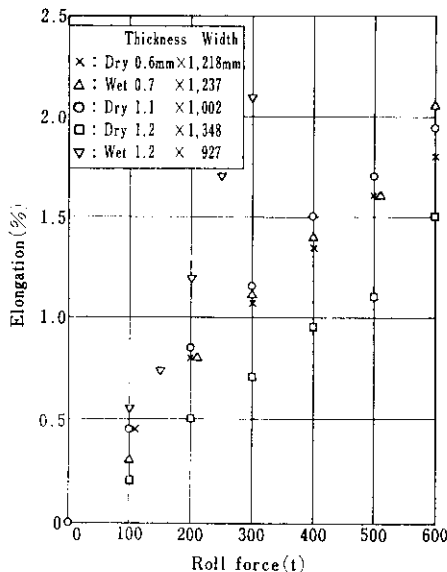


Fig. 9 The influence of roll force on elongation

する方が良いことを示している。

4.2 圧延荷重と張力の伸び率に与える影響

圧延荷重と張力の伸び率に与える影響について実験を行なった。Fig. 9 に種々の SPCC コイルの圧延荷重と伸び率の関係を示す。この図よりわかるごとく圧延荷重と伸び率の関係がほぼ直線的であり、伸び率制御の際の操作変数として圧延荷重を採用したことの妥当性が確認された。

なお、種々のコイルを用いて前方および後方張力が伸び率に与える影響について実験を行なったが、張力の影響はほとんどなかったので結果についての報告は省略する。

4.3 圧延速度と伸び率との関係

圧延速度が調質圧延伸び率を変化させる原因は、通常冷間圧延の場合と異なり必ずしも明確ではない。したがって速度による伸び率変化に対する補償の具体的な数値をつかむことは非常に難問であった。測定結果を Fig. 10 に示すが、本圧延機でも当社千葉製鉄所のものと同様に、速度による伸び率の低下がみとめられたので、これらの結

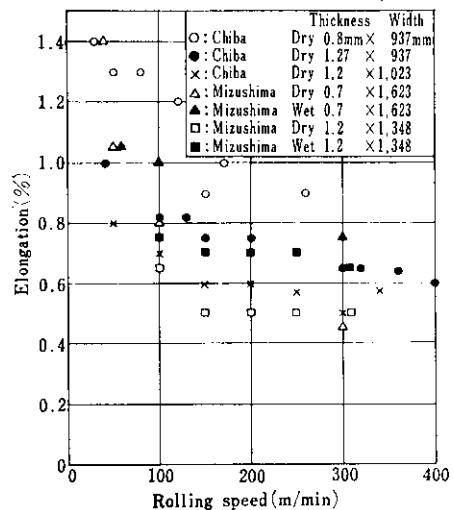


Fig. 10 The influence of rolling speed on elongation

果をもとにして実操業に用いる速度補償の関数形を決定した。しかし Fig. 10 にみられるようにコイルによる変化が大きいので平均的な補償しかできず、現在にいたっている。

4.4 伸び率制御時の状態について

4.4.1 ステップ応答性とロール偏心の影響

実稼動における伸び率調節器のゲインを決め、そのゲインでの制御状態をみるために、ミル定数や調節器のゲインを種々に変化させて、伸び率に対するステップ応答を測定した。実験材に板厚 0.7 mm、板幅 860 mm の SPCC コイルを用いて、圧延速度一定、伸び率一定制御の状態で正負のステップ信号を油圧下制御系に加えた。測定結果を Fig. 11 に示す。この図よりステップ信号を与えた後の圧延荷重、伸び率の変化からミル定数が大きい場合にはゲインを小さくし、ミル定数が小さい場合にはゲインを大きくすると同程度の

制御状態が得られることがわかる。またこの図よりロール偏心の圧延荷重におよぼす影響はミル定数が小さいほど少ないこと、さらにロール偏心の影響は伸び率計には現われていないことがわかる。上述の結果と有限ミル定数での SN 式調質圧延機の運転の容易さおよび製品伸び率の局所的な不均一を少なくするという観点から、ミル定数の低い所で運転するようにした。

4.4.2 伸び率制御の安定限界

3.3 でのべた制御の安定限界の予測値と、実際のゲインの設定の関係についてのべる。(11)式において、 $H \cdot M = H \cdot \Delta P_R / \Delta h = \Delta P_R / \Delta h / H = \Delta P_R / \Delta g$ である。 $\Delta P_R / \Delta g$ は、Fig. 10 の勾配から求まり、Fig. 10 に記載した材料、圧延条件の

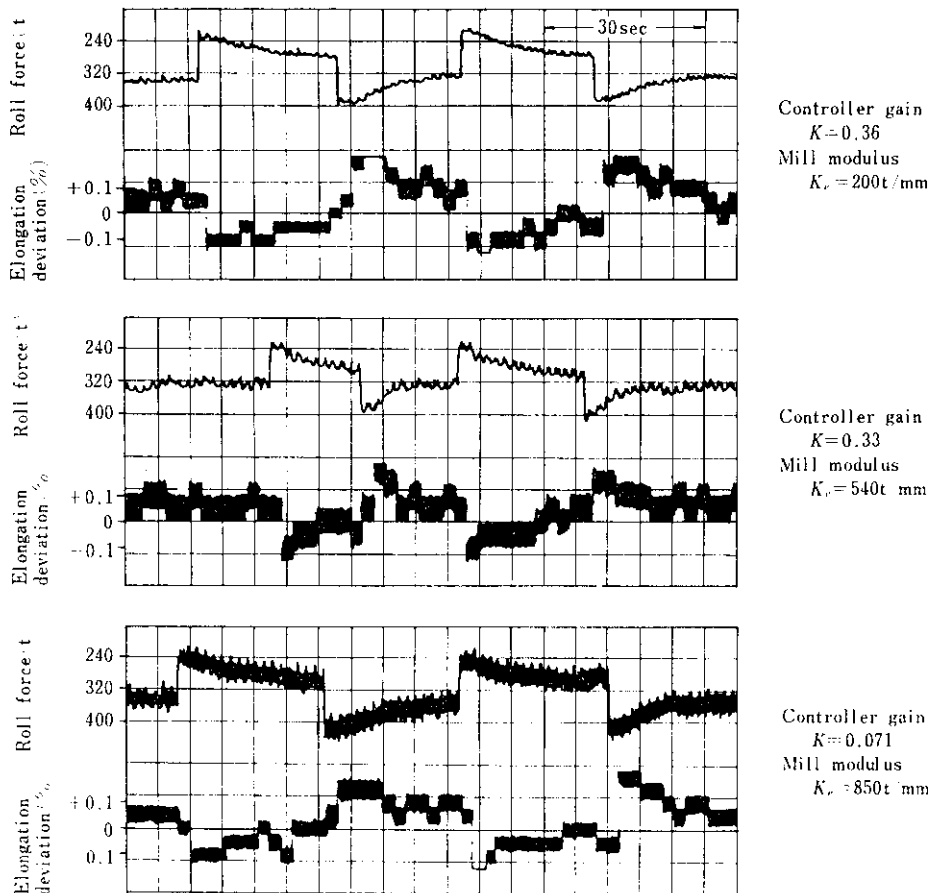


Fig. 11 The step response of the elongation control system in various controller gain and mill modulus (material: SPCC 0.7 mm thickness $\times$ 860 mm width, roll force: 350 t, rolling speed: 130 m/min)

もとでは $1.6 \times 10^4 < JP_R/Jg < 5.0 \times 10^4$ の範囲にある。したがって $K_c = 540 \text{ t/mm}$ の場合には安定限界のゲインは、次の範囲にある。

$$0.24 < K_{\max} < 0.75$$

一方 Fig. 11 で $K_c = 540 \text{ t/mm}$ の場合には、 $K = 0.33$ であり、良好な制御状態にある。

このことは、予測値が比較的良好に実際に合致していることを示している。

したがって、実操業上においては、すべての条件で安定なゲインを定める必要があり、もっとゲインを下げて使用している。

4.4.3 伸び率制御時の各種データ

Fig. 12 に伸び率制御を行なった場合の種々のデータの一例を示す。加速開始後 50 m/min の速度で自動的に制御は開始され、伸び率設定値 1.2% に対して溶接点を含めコイル全長にわたって、前述の管理目標の範囲 ($\pm 0.1\%$) に大部分が入っていることがわかる。また伸び率調節器からの出力信号による荷重変化は溶接点で2分割しては

ほぼ同一の形でくりかえされているのがみられる。これは鋼塊位置に対応した材質変化が現われているものと考えられる。

4.5 伸び率管理の実情

Fig. 13 に 1970 年 3 月 1 日から 6 月 30 日までの 4 ヶ月間に調質圧延されたコイルについて、伸び率管理の実績の 1 部を示す。SPCC の板厚 0.5 mm , 0.8 mm , 1.2 mm , 1.6 mm の 4 種について伸び率設定値から $\pm 0.1\%$ 以上はずれた部分のコイル全長に対する割合とそのコイル発生数を示した。図中に示したように伸び率が管理目標内に入っている部分の、全コイルでの平均値は約 98% である。通常 0.1% 以上はずれる部分は、ほとんど通板開始から加速中に発生するものであるので、コイル内部の伸び率はほぼ完全に管理目標内に入っているものと考えられる。

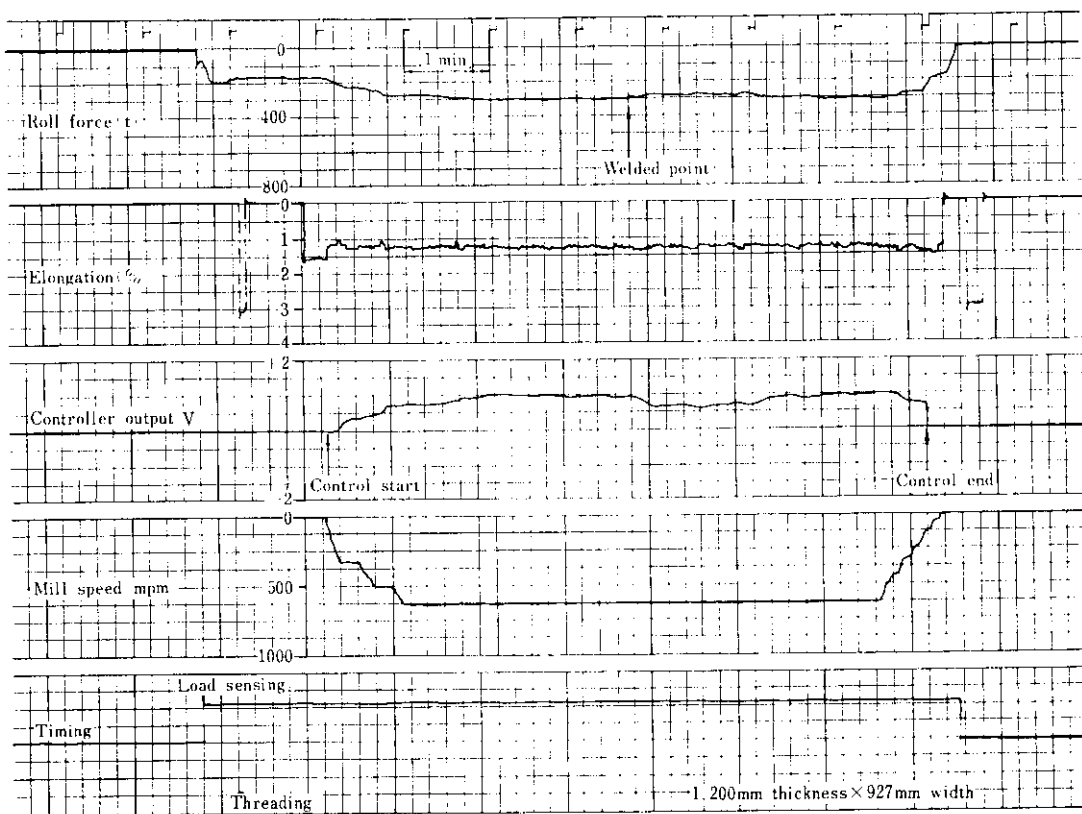


Fig. 12 An example of the elongation control

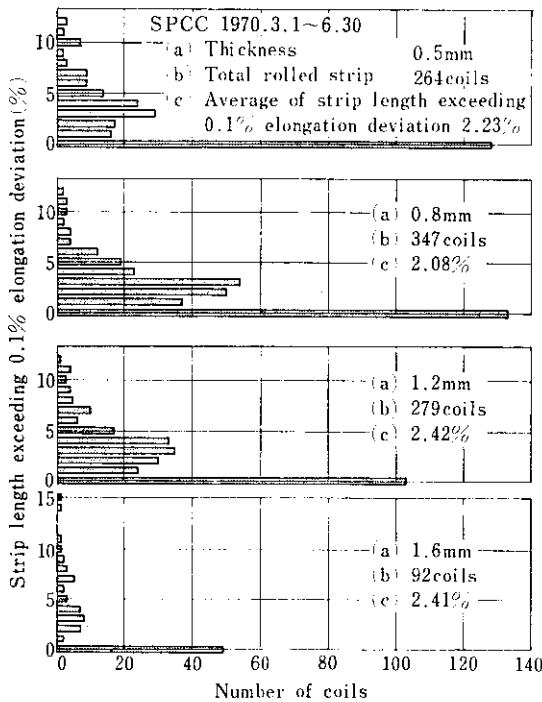


Fig. 13 The percentage of strip length exceeding 0.1 % elongation deviation in each coil

5. 結 言

以上水島製鉄所の No. 1 調質圧延機の伸び率自動制御装置に関する種々の検討結果と稼動状況についてのべた。伸び率自動制御を採用した結果、伸び率の管理状態は従来のものに比べて格段に秀れているものと考えられ、指定伸び率に対して $\pm 0.1\%$ の管理目標内に全コイル長の約 98 % が入るという良好な結果が得られている。したがってオペレータは伸び率調整作業から解放され、ストリップの形状と表面状況の観察に一層の注意力を注ぐことができるので、作業の単純化とともに冷延鋼板の品質の向上に大いに役立っている。

終わりに伸び率自動制御装置の計画、実験、改造にあたって御尽力をいただいた石川島播磨重工の関係者の方々に感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) J.F. Butler: Flat Rolled Products III, (1962) 83 [Interscience Pub.]
- 2) R.D. Butler & D.V. Wilson: J. I. S. I., 201 (1963), 16
- 3) J.F. Butler: Acta Met., 10 (1962), 258
- 4) 野村: 石川島播磨技報別冊, (1969) 2, 29
- 5) J. Billigmann, J. Lenze & D. Schöner: Stahl und Eisen, 79 (1959), 977