

討17

中径継目無鋼管圧延の自動制御システム

川崎製鉄 技術研究所 富樫房夫 佐山泰弘 阿部英夫
 知多製造所 船生 豊 野沢健吾 田口芳男

1. 緒言

知多製造所では、マンネスマン・プラグミル方式の中径継目無鋼管工場が営業生産を開始して約4年を経過した。その間の順調な操業実績は、同工場の建設に際して当初より計画されたプロセスコンピュータの導入とこれによる全圧延ラインの自動制御システムの確立に負うところが大きい。^{1)~7)}この種のシステムは他社に先がけて開発されたものであって、今後の新設および既設工場へ広く導入され得るものとする。

本稿では自動制御システムのうち、とくにミル制御の自動化について報告する。

2. 自動制御システムの構成

制御システムの構成を図1に示す。主要な機能を列挙すると、

- ・ピアサーからサイザーまでの全圧延機のミル制御
- ・ビレット装入台から矯正機出側クレードルまでの全圧延ライン上でのビーストラッキングシステム
- ・各種データのロギングならびに解析システムとCRT表示機能
- ・加熱炉の最適燃焼制御システム

などである。

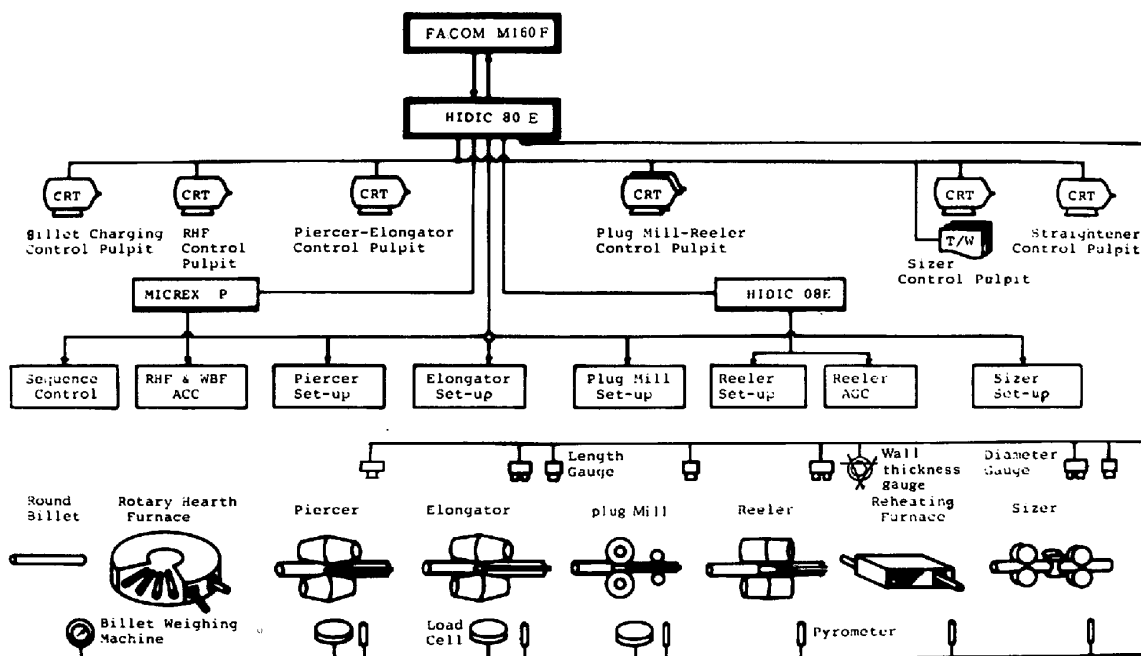


図1 自動制御システムの構成

3. 圧延の自動制御

(a) ミル制御の基本概念

各ミルの制御は、基本的にはつぎのような4つの機能を備えるものとする。すなわち、

- ・ロット替りの際に適用される初期設定値の計算
- ・当該材料の前段圧延実績をもとにして、次工程での適正な設定値を計算する、いわゆるフィードフォワード制御（プラグミル、リーラー）
- ・当該圧延機における前圧延材の実績をもとにして次圧延材の適正設定値を計算する学習制御
- ・圧延中に設定値を変化させるいわゆるダイナミック制御

これらの制御概念をまとめて図示すると図2のようである。すなわち、ビレット重量を秤量し、回転加熱炉内での実在炉時間より推定されるスケールロス量を修正して、各ミルでの目標管寸法を1

本毎に算出する。さらに、圧延後の管長さとお外径とから平均肉厚を算出し、あるいは熱間肉厚計により管厚みを実測し、これを目標値と比較することによって設定値の適正修正量を求め、つぎの圧延材に対して出力する。この際に、工具類の摩耗、圧延ピッチのばらつきによる工具熱膨張量の変動、あるいは鋼種のちがいや圧延温度の差異からくる圧延荷重の変化とそれによるミルスプリングバック量の変化を補正する機能などを具備している。以下に、各ミル毎にその制御モデルを概説する。

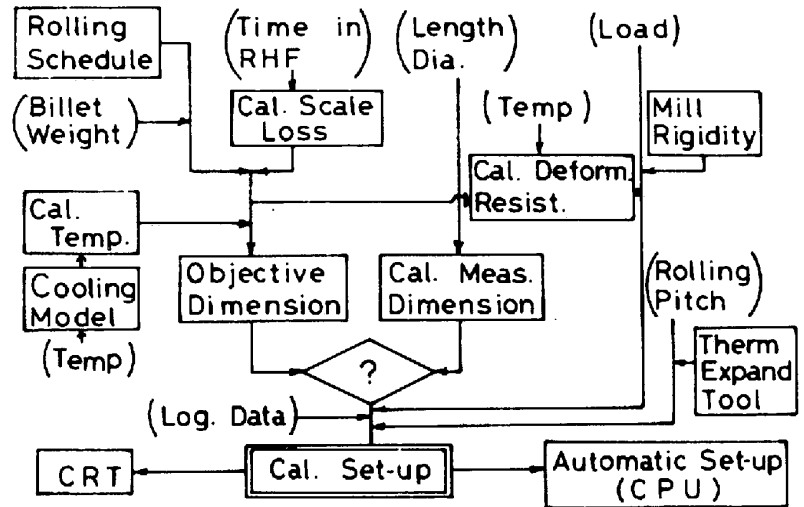


図2 ミル制御の基本概念

(b) ピアサーおよびエロンゲーター

両ミルは、工具形状に若干の相異はあるが、同一の機能をもつ穿孔圧延機であるので、制御の方法は基本的には同一と考える。圧延後の素管の外径Dと肉厚tはつぎの式で表わされる。³⁾

$$D = r \{ H + 2(L_0 - L) \tan \beta_1 \} + r' \{ E + 2(L_0 - L) \tan \beta_2 \} + \Delta D \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$t = \{ E - D_0 + 2(L_0 - L) \tan \beta_2 \} / 2 + \Delta t \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで、rとr'は管サイズで変化する係数、ΔDとΔtが学習制御で対象となる補正項であり、その他の記号は図3に示すようである。

ピアサーでは肉厚が厚いため、初期設定のみでも実用上十分な精度の素管を得ることができる。エロンゲーターではさらに学習制御モデルを採用している。図4はエロンゲーター圧延を計算機モード(CPU)で行なった結果の例である。ロットの替り、圧延ピッチの変動に対してミル設定値が自動的に変化し、十分な精度の素管が得られている。

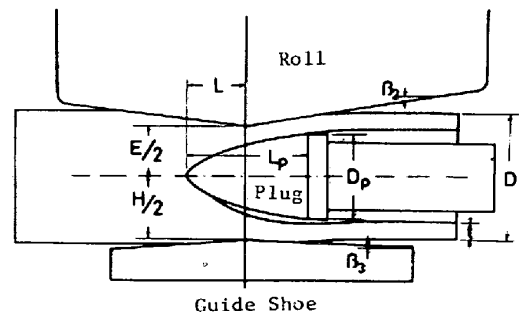


図3 穿孔時のミル設定項目の説明

(c) プラグミル

最終製品管材の長さや厚さはほぼプラグミル圧延によって決定されるので、このミルでの伸ばし長さ制御は極めて重要な意味をもつ。したがって、その制御モデルではロールギャップの修正を対象としていくつかの精度向上が図られた。たとえば、

- (1) エロンゲーター圧延実績(管寸法や温度)から、プラグミルでの目標減肉量の補正、圧延荷重の予測からミルスプリングバック量の補正などをフィードフォワードする。
- (2) 2パス圧延後の偏肉率が最小となるように、パス間の圧下配分を計算する。
- (3) 使用するプラグ毎に独立した学習制御方式を取り、プラグ摩耗量の相異による誤差あるいはプラグ交換時の学習の乱れを防止する。

学習制御の基本式はつぎのようである。

$$G = G_0 - \frac{P}{M}$$

$$+ \frac{1}{B_0} (\pi(D_0 - t)t + \frac{\pi}{4}(D_0 - \Delta D_0)^2 + r(B_0 - D_0 - 2t)^2 - S_{00}) \dots \dots \dots (3)$$

ここで

- G : ロールギャップ D₀ : プラグ径
- G₀ : 基準ロールギャップ t : 圧延後材料の肉厚
- B₀ : カリバー幅 ΔD₀ : 補正項
- S₀₀ : 基準カリバー面積 P : 圧延荷重
- r : 係数 M : ミル剛性
- D₀ : プラグミル有効外径

図5は、肉厚一定制御で圧延制御した場合の結果を示す。肉厚のばらつきが大幅に減少している。

(d) リーラー

リーラーのミル制御は、プリセットとAGCとの両機能を有する。すなわち、プリセットではリーラーの噛み込み時のミル設定値を計算するものであり、前出の(1)および(2)式と同様である。この場合リーラー入側の素管先端の、いわゆる非常定圧延管端部の肉厚分布も、エロンゲーターおよびプラグミル各パスの実績平均肉厚から推定され、

圧延後の管外径を一定にする目的に応じたミル設定値を算出する。

AGCモデルでは、鋼種と圧延温度とから変形抵抗を計算し、さらにモーター圧延トルクから実績肉厚圧下量を予測し、これが目標減肉量と一致するようにロール間隔を動的に制御する。

上述した計算機運転モードでのミル制御の結果の一例を図6に示す。圧延トルク一定としたAGC

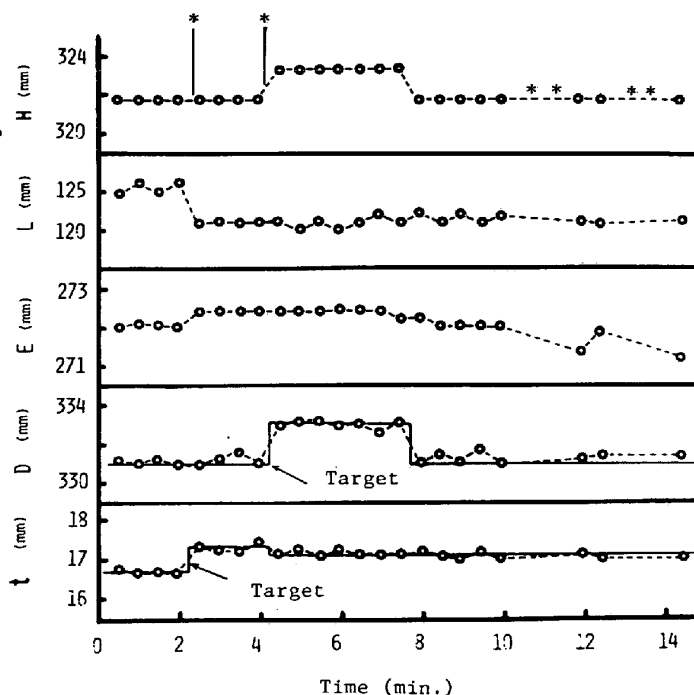


図4 エロンゲーター計算機モード運転例 (* ロット替り, ** ピッチあき)

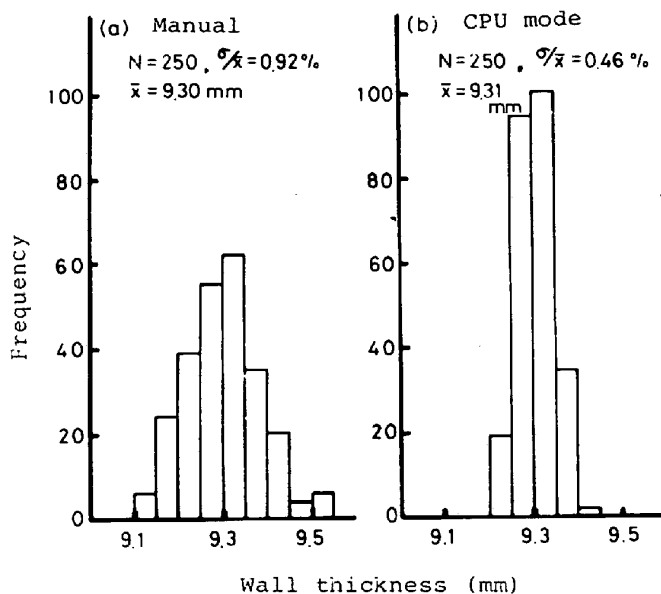


図5 プラグミル肉厚一定制御の圧延

制御により、管長手方向に均一な外径のパイプが得られた。

(e) サイザー

熱間での目標仕上げ外径は、鋼種、圧延温度から熱収縮率を考慮し管1本毎に設定される。

外径制御モデルの基本式は次式のようなのである。

$$D = a + \sum_i b_i G_i \dots\dots\dots (4)$$

ここでDは実測外径、Gはロールギャップ、a、bは係数、iはロールスタンド数である。目標値からの偏差を修正する上で、下流スタンドほど補正量を大きく設定する機能および影響係数を圧延中に自己学習する機能を具備している

ことが、ミルの制御モデルの特徴である。その結果図7のように、外径の目標値への収束がよい。

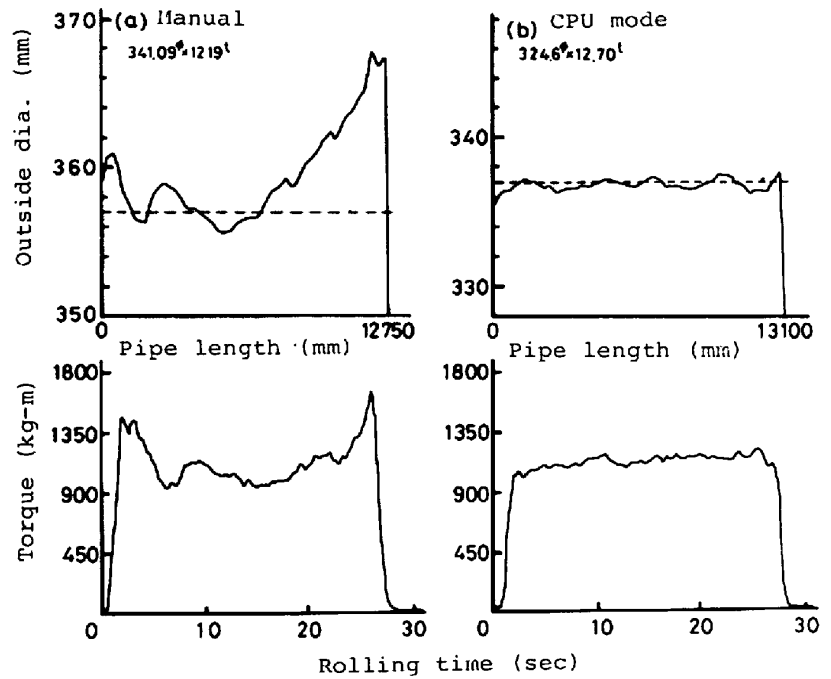


図6 リーラー出側外径と圧延トルク

4. 結言

プラグミル工場に適用された本システムは、なおレベルアップの課題は残されているものの、操業の順調な立ち上がりと安定化へ大きく貢献すると同時に、製品寸法精度、歩留り、生産性の向上、省エネルギーにも大きな効果をもたらした。この種の総合的なシステムは、単にプラグミル工場のみにとどまらず既設の小径継目無鋼管工場(マンドレルミル)の圧延制御システム設計へ適用されつつある。

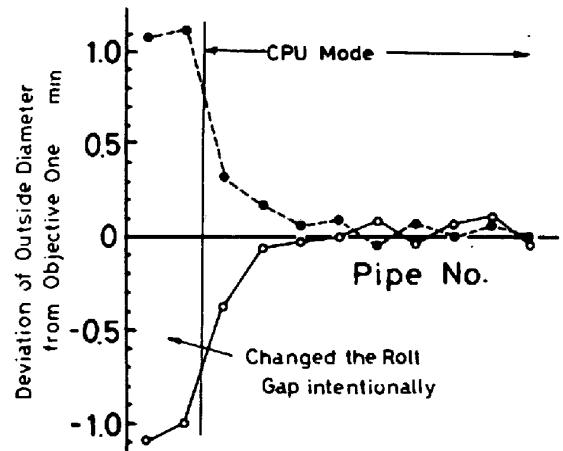


図7 サイザー外径制御圧延の一例

参考文献

- (1) 田口 他 : 鉄と鋼, 66(1980)11, S 400.
- (2) 佐山 他 : 川崎製鉄技報, 13(1981)1, 1.
- (3) 中川 他 : 鉄と鋼, 64(1978)11, S 690.
- (4) 今江 他 : ibid, 66(1980)11, S 401.
- (5) 阿部 他 : ibid, 66(1980)11, S 402.
- (6) 桜田 他 : ibid, 66(1980)11, S 403.
- (7) 増田 他 : ibid, 66(1980)11, S 404.