
数値制御式ティンプレートシャーの開発

Development of Numerically Controlled Rotary Shear for Tinplate

嶺 義輔(Yoshisuke Mine) 井田 幸夫(Yukio Ida) 山本 博正(Hiromasa Yamamoto)
金井 正治(Masaharu Kanai) 大川 順弘(Yoshihiro Okawa) 東 将(Susumu
Azuma)

要旨：

錫メッキ、クロムメッキ鋼板の剪断長さ精度の向上のため、数値制御式ティンプレートシャーを開発し、実用化した。本シャーは、シャードラム駆動モータと鋼帯搬送モータを独立させ、鋼帯の送り速度を検出し、設定剪断長さになるように剪断周期を数値制御している。また、ナイフ周速度と鋼帯の送り速度の同期は、ドラム駆動サーボモータを加減速させるのではなく、ドラム駆動系に非円形ギアを組み込みサーボモータを定速回転させている。この結果、実用化されている小容量、低慣性モータの使用で、高い剪断長さ精度と既存の機械式シャーと同等の剪断速度を得ることができた。

Synopsis：

Lately user's demands for accuracy in cut length of tinplates have become increasingly severe. Most of the conventional mechanical shears for tinplates, however cannot meet the user's requirements. The authors have developed a numerically controlled rotary shear of a new type for tinplates to achieve high accuracy in cut length. In this shear, a DC servo motor driving the shear drums is numerically controlled in accordance with the material speed, and this synchronization in speed between the material and the knife during cutting is implemented by non-circular gears and by electrically controlling the speed of the DC servo motor. Even though the use of the DC servo motor of a small capacity, the technical concept mentioned above has attained high accuracy in cut length and a wide range of cut lengths at high speed.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

数値制御式ティンプレートシャーの開発 Development of Numerically Controlled Rotary Shear for Tinplate

嶺 義 輔*
Yoshisuke Mine

井 田 幸 夫**
Yukio Ida

山 本 博 正***
Hiromasa Yamamoto

金 井 正 治****
Masaharu Kanai

大 川 順 弘*****
Yoshihiro Okawa

東 将*****
Susumu Azuma

Synopsis:

Lately user's demands for accuracy in cut length of tinplates have become increasingly severe. Most of the conventional mechanical shears for tinplates, however, cannot meet the user's requirements.

The authors have developed a numerically controlled rotary shear of a new type for tinplates to achieve high accuracy in cut length. In this shear, a DC servo motor driving the shear drums is numerically controlled in accordance with the material speed, and this synchronization in speed between the material and the knife during cutting is implemented by non-circular gears and by electrically controlling the speed of the DC servo motor. Even though the use of the DC servo motor of a small capacity, the technical concept mentioned above has attained high accuracy in cut length and a wide range of cut lengths at high speed.

1. 緒 言

近年、ユーザーにおけるティンプレートの剪断長さ精度の要求は、非常に厳しくなっている。

これに対し、既存の多くの機械式ティンプレートシャー（以下機械式シャーと記す）は、一部の要求精度は満足できず、また、精度維持に要する労力と費用も大きいという問題があった。

そこで、剪断長さ精度が悪い機械式シャーの精度不良原因を調査した結果、鋼帯の送り系統（以下送り系統と記す）とシャードラム駆動系統（以下シャー系統と記す）が機械的に結合されているため、シャー系統に発生するトルク脈動が送り系

統へ伝播され、鋼帯の送りむらが発生しているためであることが分った。

鋼帯の送りむらを除くために、送り系統とシャー系統を機械的に分離し、送り系統を通常の直流モータで駆動し、シャー系統を数値制御（以下NCと記す）されたサーボモータで駆動する従来のNCシャーの採用を検討した。しかし、従来のNCシャーでは、剪断ごとに鋼帯の送り速度とシャーナイフの周波度とを同期させる方法として、剪断ごとにサーボモータを加減速させており、剪断同期速度は120m/min程度しか実用化されておらず、従来の機械式ティンプレートシャーでの剪断速度300m/minを、確保できない状況であった。

従来速度を確保するには、極低慣性のサーボモ

* 千葉製鉄所設備部設備技術室主査（部長補）

*** 千葉製鉄所設備部設備技術室主査（掛長）

***** 千葉製鉄所冷間圧延部鍍金課課長

〔昭和56年8月28日原稿受付〕

** 千葉製鉄所設備部設備技術室主査（課長補）

**** 千葉製鉄所設備部設備技術室

***** 千葉製鉄所冷間圧延部冷延技術室

ータの開発が必要となるので、従来のNCシャーのシャー系統に機械的同期装置を加え、サーボモータに同期のための加減速をさせなければ、実用化されている低慣性モータで従来速度を確保できると考えた。

筆者らは、このように機械的同期装置とNCの特性を組合せることにより、高速度で剪断長さ精度が高く、安価な、機械、電気複合型シャー：KH-SHEAR (Kawasaki Hybrid Shear) の実用化に成功したので、ここに報告する。

2. KH シャーの概要と主仕様

2.1 概 要

KH シャーの構成を Fig. 1 に、機械式シャーの構成の一例を Fig. 2 に示す。

KH シャーは、シャー系統と送り系統とは機械的に分離され、それぞれ別個のモーターで駆動されている。また、シャー系統減速機内に非円形ギアを使用して、剪断時、鋼帯とシャーナイフの周速度とを同期させており機械式シャーや従来のNCシャーにはなかった技術的諸特徴(第3章に詳述)を有することができるようになった。

剪断長さ制御は、送り装置入側にメジャリングロールを設け、鋼帯の速度 V_L (m/min) を検出し、この V_L と設定剪断長さ L_0 (mm) を基準とし、走間剪断に関する基本式 $L_0 = (V_L/N) \times C$ (C : 一定) により、シャー系統駆動モータの回転速度 N (rpm) を数値制御する。制御ブロックの概要を Fig. 3 に示す。

現在、KH シャーに関して6件の特許^{1)~3)}を申請済である。

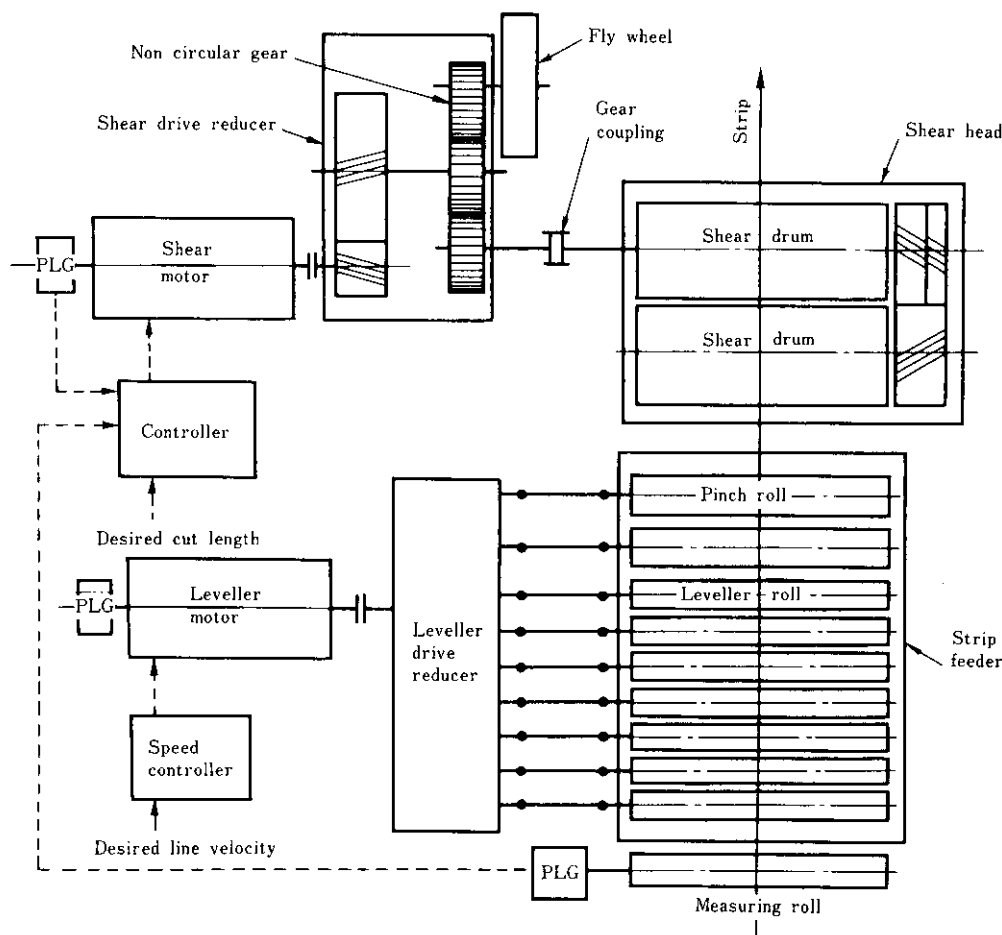


Fig. 1 General arrangement of KH shear

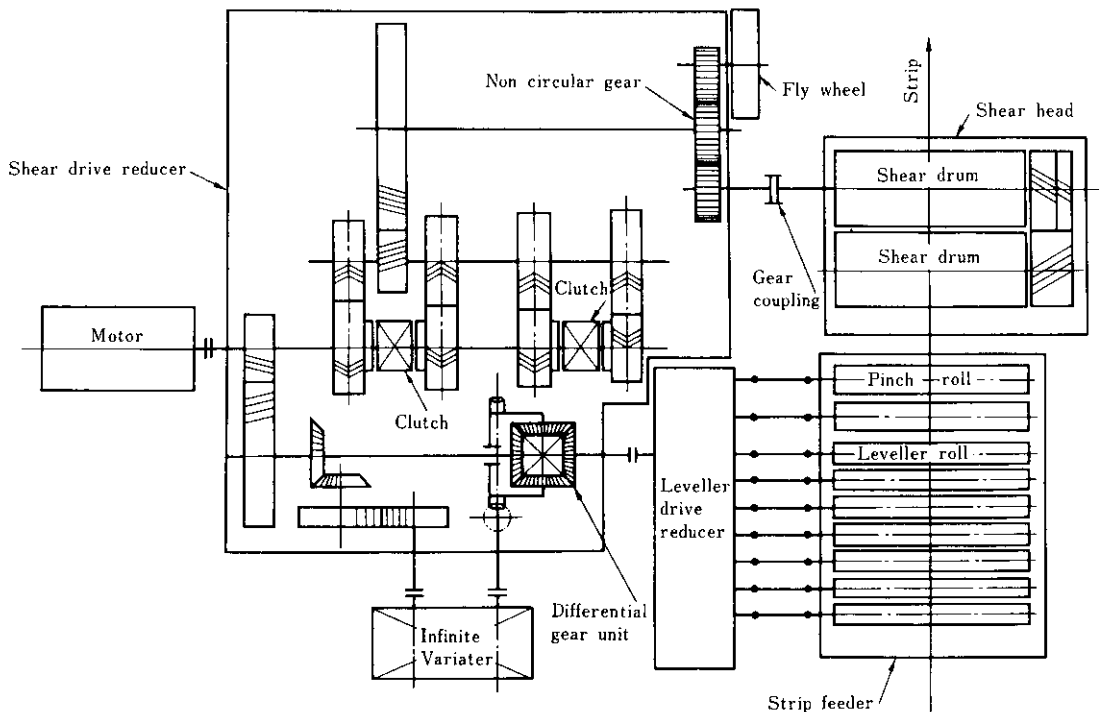


Fig. 2 An example of general arrangement of mechanical shear

2:2 主仕様

千葉製鉄所で実用化している KH シャーの主仕様は次のとおりである。

型式：ロータリードラム型

板厚：0.1～0.635mm

板幅：450～1 050mm

剪断長さ(同期剪断長さ)：460～1 090mm

機械的同期長さ：492～984mm

機械的同期装置：非円形ギア

剪断速度：最高300m/min (Fig. 4 参照)

上下シャードラム：241.3φ(ナイフサークル径)×1 143mm(胴長)

3. KH シャーの技術的特徴と検討項目

3.1 技術的特徴

3.1.1 高い剪断長さ精度

KH シャーは、以下に示す(1)～(3)の処置により、鋼帯剪断速度一定の場合はもちろん、加減速の

場合も含めて高い剪断精度(長さの誤差0.8mm以下)を達成した。

- (1) 送り系統とシャー系統を機械的に分離し、鋼帯の送り速度むらを防止した。
- (2) シャー系統は、剪断長さ変更を電気的に行うことによるギア列の減少、高製作精度により、シャー系統駆動部のバックラッシュが機械式シャーの1/4～1/5程度に減少した。
- (3) 機械的同期装置の採用によりほとんどの剪断長さ範囲でサーボモータの同期用加減速を不要とした。

3.1.2 高速度剪断

従来の NC シャーは、剪断回数が100cut/min程度であったが、KH シャーは、最高480cut/min の高速度剪断が可能である。

3.1.3 広い剪断長さ範囲

KH シャーは、シャー系統と送り系統を電気的に結合し、機械的同期範囲以外では、電気的に同期させることができ、剪断長さ範囲を拡大できる

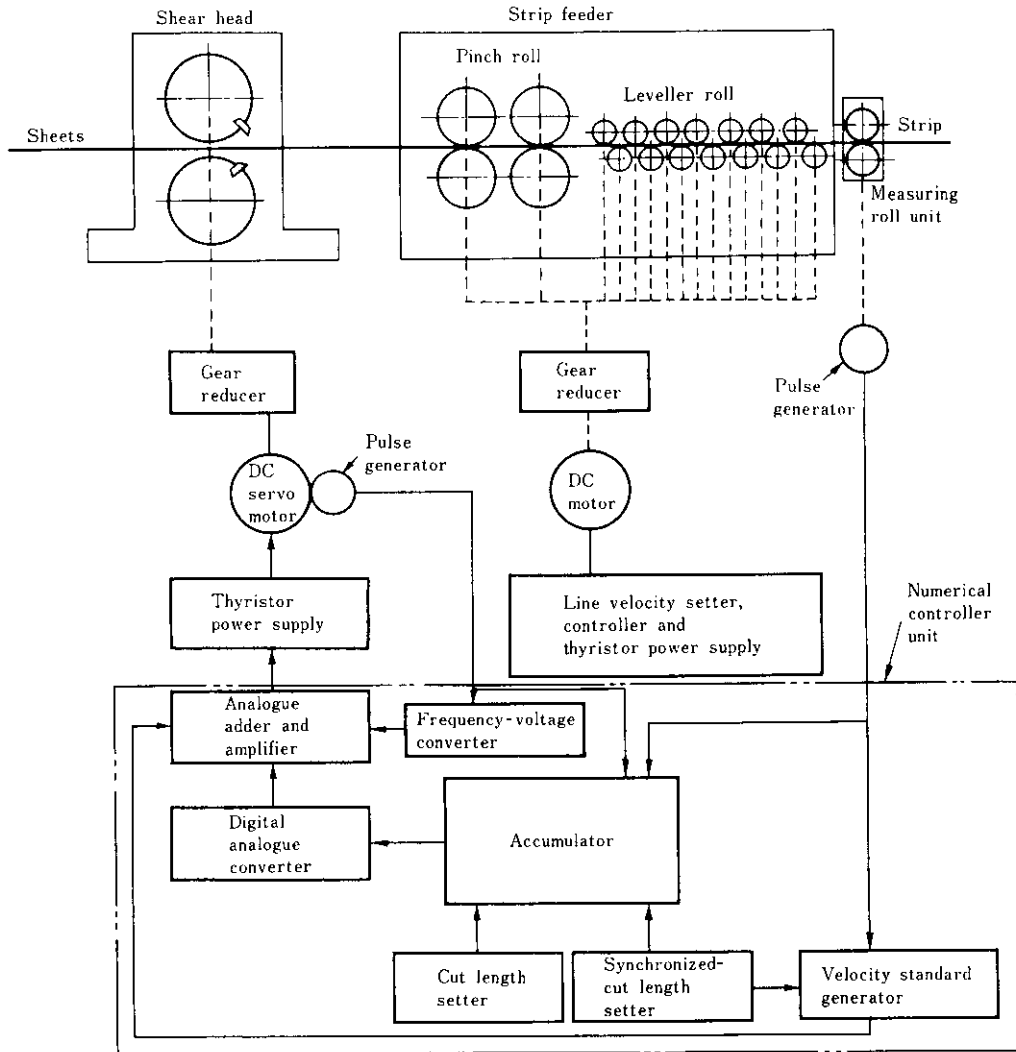


Fig. 3 KH shear control schematic block diagram

3・1・4 操作性の向上

機械式シャーで剪断長さを変更する場合、ギア切換や無段変速機の速比変更を行っていたが、KHシャーは、操作盤上のデジタル設定器を操作するだけであり、変更時間が短くなり、操作内容が簡単になった。

3・1・5 保守性の向上

従来の機械式シャーに比較し、シャー系統のギア列が簡略化されたことと、2系統に分離されたために、送り系統のバックラッシュが問題とならなくなるにより、精度維持の保守工数が削減

できる。

3・1・6 設備費の低減

従来の機械式シャーは、高精度部品の集合体であったが、KHシャーは、機械構造が極めて簡単になった。また、従来のNCシャーに比較し、サーボモータは制御が等速回転を主体にしているので大容量、極低慣性を必要とせず、従来のシャーに比較して廉価である。

3・2 技術的検討

KHシャーを開発した際の目標剪断長さ精度は、剪断長さの誤差を0.8mm以下に設定し、この精度

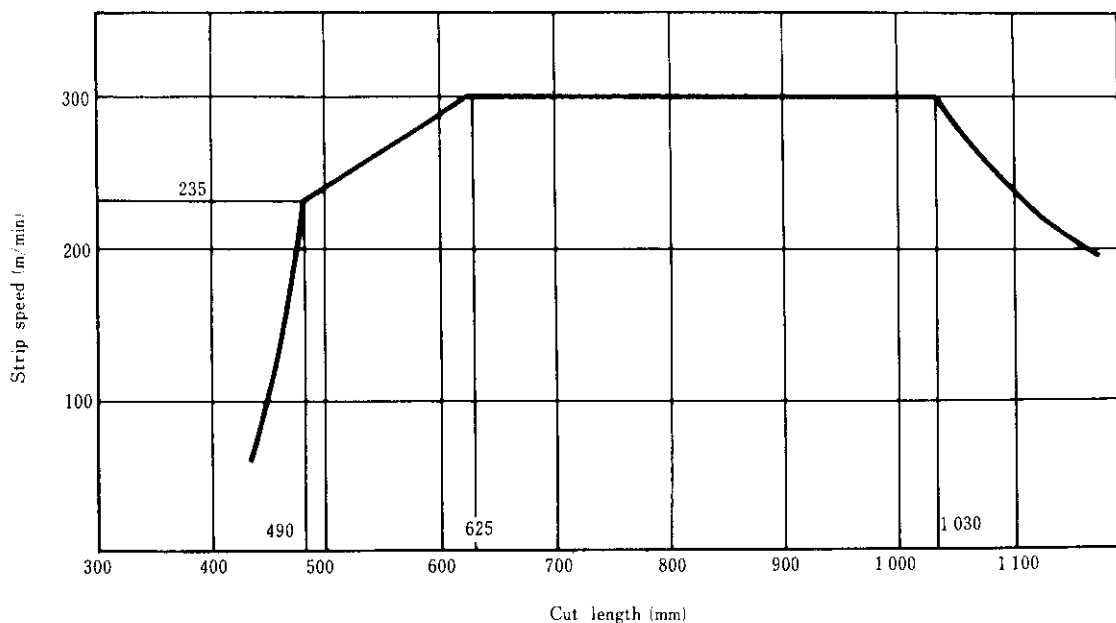


Fig. 4 Strip speed for various cut length

を達成するために、以下の問題点について検討を加えた。

3・2・1 シャー系統駆動部のバックラッシュ

シャー系統駆動部のバックラッシュは、剪断長さ精度に大きく影響する。

KH シャーのシャーモータとシャードラム間のギア列を Fig. 5 に示す。入力軸固定時のシャーナイフ遊びの測定値は、 $\delta_1 = 0.17 \sim 0.20 \text{ mm}$ で、これは機械式シャーに比較して約 $1/4 \sim 1/5$ 程度であった。

3・2・2 剪断時の速度変動

ティンプレートシャーの場合、通常、剪断トルクはシャー回転部分の慣性によって補われている。このことから、シャー系統の速度は剪断後降下するので、降下前速度への復帰時間を求め、同期剪断が確保できるか否かを調査した。

復帰時間は、計算ではモータ発生トルクの推定精度が疑問であったので、実験により計測した。

この結果、復帰時間は剪断周期に比較して充分小さく、実機での安定した同期剪断は期待できると判断した。

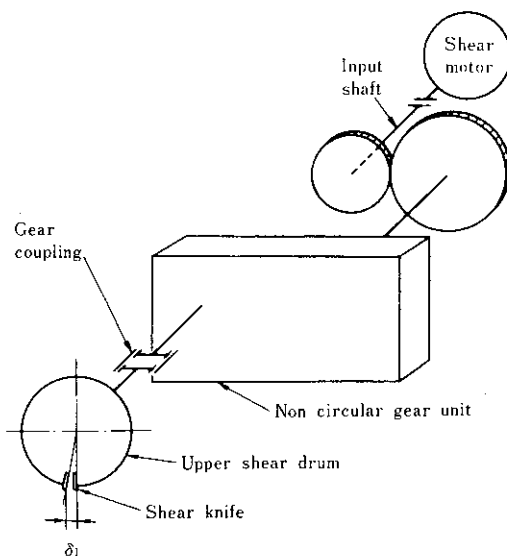


Fig. 5 Backlash through shear drive unit

3・2・3 メジャリングロールの選定

このロールは、鋼帯の速度を検出し、その信号を NC 装置に与えるものであり、KH シャーの心臓部である。要求される機能は

- (1) スリップのないこと
 - (2) 鋼帯に疵を与えないこと
 - (3) 検出部の変形がないこと
- である。

メジャリングロールが鋼帯とスリップしない条件は、次式で与えられる。

$$\mu RF \geq \frac{I \cdot d\omega}{dt} \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$I = \frac{M \cdot R^2}{2} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\alpha = \frac{R \cdot d\omega}{dt} \quad \dots\dots\dots(3)$$

μ : メジャリングロールと鋼帯間の摩擦係数

R : メジャリングロールの半径

F : メジャリングロールと鋼帯間の接触力

I : メジャリングロールの慣性モーメント

ω : メジャリングロールの角速度

M : メジャリングロールの質量

α : 鋼帯の加速度

(2), (3)を(1)に代入して、次式が得られる。

$$F \geq \frac{Mq}{2\mu} \quad \dots\dots\dots(4)$$

また、メジャリングロールと鋼帯間の最大接触応力は、ヘルツの弾性接触の公式より次式で与えられる。

$$P_0 = \left\{ \frac{\pi R}{q} \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right) \right\}^{-1/2} \quad \dots\dots\dots(5)$$

P_0 : 最大接触応力

q : メジャリングロールの接触線圧

E_1 : メジャリングロールのヤング率

ν_1 : メジャリングロールのポアソン比

E_2 : 錫のヤング率

ν_2 : 錫のポアソン比

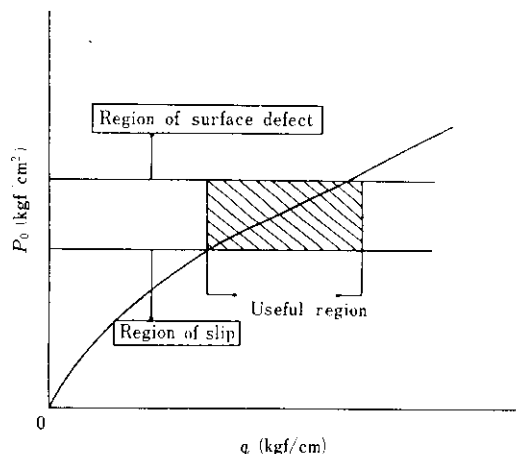
鋼帯に疵がつかない条件は、(5)式で P_0 が錫の降伏応力を超えないことで与えられる。

本開発では、オンラインの実験をくり返して、接触圧力、構造、材質を決定した。

KHシャーで採用したメジャリングロールについて、(4), (5)式を用いて、スリップ、疵のない範囲を図示したものを Fig. 6 に示す。

3・2・4 サーボ精度

サーボ精度の測定は、NC 装置に鋼帯の速度信号を与えてシャードラムを駆動し、(6)式に示す表



P_0 : Maximum contact stress between measuring roll and strip (kgf/cm²)

q : Linear pressure between measuring roll and strip (kgf/cm)

Fig. 6 Relation between P_0 and q on measuring roll

示計算長さ L' を測定した。

$$L' = L_0 + l_1 - l_2 \quad \dots\dots\dots(6)$$

L_0 : 設定剪断長さ

l_1 : 剪断信号間の板移動パルス数×パルス単位長さ

l_2 : 剪断信号間のドラム回転パルス数×パルス単位長さ

速度信号は、フラットな模擬信号およびオンライン信号を用いた。模擬信号での測定結果を Table 1 に、この時の測定装置概要を Fig. 7 に示す。

Table 1 Range of deviation from servo error

Cut length (mm)	Condition		R (mm)
	Strip speed (m/min)	Accelerating time (s)	
491	0→235→0	10.0	0.5
776	0→300→0	13.0	0.4
982	0→300→0	13.0	0.5

R : Deviation of cut lengths, N=1 200

4. 実機テスト

4・1 設備

実機テストは、既設の機械式シャーを KH シャー

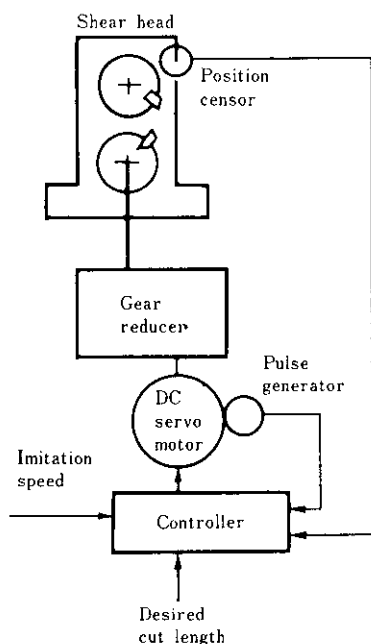


Fig. 7 Measuring device of servo error

一に改造して行った。

4・2 テスト結果

テスト条件と、得られた剪断長さ精度を Table 2 に、テストに使用した鋼帯の諸元を Table 3 に示す。剪断長さの誤差は 0.6～0.8mm であった。

Table 3 Specification of test strip

Thickness (mm)	0.22	0.28
Width (mm)	856	765
Tempering degree	T4	T4
Roughness	R2	BE

Table 2 Test condition for actual machine and results

Desired cut length (mm)	500	760	760	980
Strip speed pattern (m/min)				
Average cut length (mm)	500.3	760.3	760.3	980.3
Deviation in cut length (mm)	0.6	0.8	0.6	0.8
Sample number	232	227	1037	171

開発の目標精度は 0.8mm 以下であり、テスト結果はこれを満足したので、KH シャーを生産設備として使用している。また、現在建設中のシャーラインでも KH シャーの採用を決定した。

5. 結 言

ユーザーの高い剪断長さ精度の要求に対処するため、従来の NC シャーのシャー系統に機械的同期装置を加え、シャー系統モータの制御を等速主体とした KH シャーを開発した。

これにより、小容量サーボモータで機械シャーと同等の剪断速度、高い剪断長さ精度、広い剪断長さ範囲を得た。

KH シャーの開発、採用により、当社で使用してきた機械式シャーの実績と比較して、以下の成果が得られた。

- (1) 加減速時を含め、高速度における剪断長さ精度が大幅に向上した。この結果、ユーザーの高精度要求に対処可能となった。また、加減速部の剪断板も一級品となり、歩留りが 0.3% 向上した。
- (2) 剪断長さ範囲が拡大できた。
- (3) 操作性、保守性が向上した。
- (4) 従来方式のシャーに比較し、製作費用が少ない。

参 考 文 献

- 1) 川崎重工業(株), 川崎製鉄(株): 特開昭54-95089, 特開昭56-89425, 特願昭55-82538
- 2) 川崎製鉄(株): 特開昭56-134122
- 3) ナスコ(株), 川崎製鉄(株): 特開昭54-63476, 特開昭54-63477