U.D.C. 621.771.237.016.2.063.065:681.532.2'137:681.323

特集 圧延設備

ストリップ圧延の板クラウン形状制御システム Crown and Shape Control System of Strips

圧延鋼板の品質向上及び歩留まりの向上を図るために,板クラウン(板厚の幅方向 分布)の制御が強く望まれている。この要求にこたえるため,日立製作所は日新製鋼 株式会社の協力を得て,同社呉製鉄所第2熱延薄板圧延機で板クラウン・形状制御 システムを完成させ,良好な成果を挙げている。

本制御システムは, 圧延材の変形を3次元的に取り扱った数式モデルを基本とし て構築しており, 圧延スタンド間での圧延材の形状悪化を最小とするプリセット方 式, 通板中の形状修正を行なうDDC及び学習制御により構成され, いずれも圧延機 タイプなどに影響されない汎用性をもっている。

山崎雅	邦*	Masakuni Yamasaki
石川秀	*	Syûichi Ishikawa
木谷	進**	Susumu Kitani
河 瀬 宏	志**	Hiroshi Kawase
橋本	直***	Tadashi Hashimoto
粟津原	博****	Hiroshi Awazuhara

本論文では、本制御システムの構成及びその制御効果を主体に述べる。

1 緒 言

近年,自動車,家庭電気製品など多くの分野で使用されている薄鋼板の品質に対するユーザーの要求は,圧延技術の進歩とともに厳しいものとなっている。

このような状況の下で, 圧延材の寸法精度向上, 歩留まり 向上などの点から, 板クラウン(板厚の幅方向分布)及び形状 (圧延方向の平たん度)の改善が強く望まれている。特に板ク ラウン改善の要求は強く, 重要な技術課題のひとつになって いる。



熱間薄板材の板クラウンは、そのまま製品となる場合はデ ッドフラット(均一厚さ)であることが、また、冷間圧延工程 の素材として用いる場合には適度な大きさの凸クラウン(中 高状の厚み分布)であることが望まれる。

このような要求を満たす技術を確立するためには,(1)板ク ラウン調整能力の大きな圧延機の開発,(2)この圧延機の板ク ラウン・形状制御用数式モデルの開発,(3)数式モデルを基本 とした制御システムの開発,が必要である。

本論文では、板クラウン調整能力の大きい圧延機、すなわち作業ロールシフト方式の四重圧延機(以下,HCW-MILLと称す。)と作業ロール、中間ロールの両シフト方式の六重圧延機(以下,HCMW-MILLと称す。)とで構成された熱間薄板仕上圧延設備を対象に開発した汎用性のある板クラウン・形状制御システムの特長^{1~3)},及びそれを支える数式モデルの特長について述べる。

2 板クラウン・形状制御用数式モデル

さまざまな圧延条件の下でも,圧延材の板クラウン及び形 状を常に目標どおりの値に制御するためには,圧延機の特性 を数式表現したモデルが必要である。

数式モデルを得るには二つの方法がある。

(1) 圧延現象に基づく理論解析により数式化する方法

(2) 圧延データをベースに特性を回帰することにより数式化する方法

図 I 圧延材の変形説明図 板クラウン,形状(伸び率差)は、入側: $C_H = H_c - H_e$, $\lambda_L = \frac{L_e - L_c}{L_c}$ 出側: $C_h = h_c - h_e$, $\lambda_l = \frac{L_e - L_c}{L_c}$ で定義される量である。

法により開発したもので、次のような特長をもっている。

(1) 圧延材の幅方向変形を考慮した板厚分布計算により,理 論解析している(圧延材の変形を3次元的に解析)。

(2) 理論解析結果を有理関数で表現し、計算機処理を容易にしている。

(3) 圧延材の板クラウン比率変化と形状変化を, 定量的に表 わすパラメータである形状変化係数⁴⁾を,新たに張力の影響 も表現できる形に拡張している。

板クラウン及び形状制御の基本となる数式モデルを以下に 紹介する。なお、板クラウン及び形状の定義については、図 1を参照されたい。

板 クラウン: C_h

$$C_{h}(=h_{c}-h_{e}) = \frac{C_{h}^{*}-K_{ch}l_{d}A(1-\xi)\frac{C_{H}}{H_{c}}}{1-\frac{K_{ch}l_{d}A(1-\xi)}{h_{c}}}\dots\dots(1)$$

一般的に、(1)は汎用性をもつが計算式が複雑になる嫌いが あり、(2)は簡単な数式表現となるが膨大な時間を必要とする うえに圧延機固有の表現となり,汎用性に欠ける欠点がある。 本システムに用いている数式モデルは、(1)、(2)を融合した手

形状:λ,

25

* 日新製鋼株式会社呉製鉄所 ** 日立製作所大みか工場 *** 日立製作所日立工場 **** 日立製作所機械研究所

294 日立評論 VOL. 67 No. 4 (1985-4)

ここに、 C_{*} は2次元板クラウン(入・出側の張力分布無視)、 K_{ch} は2次元板クラウン C_h^* の補正係数, l_d は接触投影長さ, A は圧延圧力分布補正係数, **ξ**は形状変化係数, C_Hは入側板クラ $\dot{\sigma} \sim (=H_c - H_e), H_c は 入口 板厚(中央), h_c は 出口 板厚(中)$ 央), *E*Lは入側形状の入側板クラウンへの影響係数, *L*は入側 形状 $((L_e - L_c)/L_c)$ である。

(1)式で示す板クラウン C_h は、圧延材の幅方向変形を無視し た場合の理論計算により得られる2次元板クラウンC*に形 状変化係数をを用いた補正を行なうことにより得られる。す なわち、圧延材の3次元変形状態のものである。板クラウン



 C_{h} に影響を与える因子としては, (1) 圧延荷重P, (2) 作業u-ルベンディング力F, (3) 作業ロール位置 δ_W , (4) 中間ロール位 置 δ_I , (5) 作業ロールクラウン C_R などがある。

本数式モデルでは、これらの因子の板クラウンChへの影響 は2次元板クラウンC*を介して考慮しており, 圧延機のタイ プやサイズが異なっても、C*の関数形を一部変更するだけで 容易に対応可能な表現にしている。

本システムのHCW-MILL及びHCMW-MILLの2次元板 クラウンC*は次式で表わされる。

ここに、係数 f_p 、 f_F 及び f_c は板幅b、作業ロール位置 δ_w によ って、また係数 g_p, g_F, g_c 及び g_0 は板幅b,作業ロール位置 δ_W , 中間ロール位置のによってそれぞれ決まる。

本システムに用いた(3)式及び(4)式の数式モデル値と厳密な 理論計算値とを比較した結果は,図2,3に示すように極めて 良い精度で一致している。

一方,板クラウン C_h と形状 λ_l とは,(2)式で示すように形状 変化係数をにより関係づけられている。そは圧延材に張力を作 用させない状態での値 ξ_0 に張力補正項 $C_{\xi T}$ を乗じた形,

 $\boldsymbol{\xi} = C_{\boldsymbol{\xi}T} \boldsymbol{\xi}_0$ で表わしている。

2次元板クラウンモデルの精度検証結果(HCW-MILL) 図 2 縦 軸に厳密理論計算値を,横軸に数式モデルの計算値をとっている。両者はよく一 致していることが分かる。



ξ0は圧延材の幅方向変形状態を支配する因子に依存するこ とを考慮して, 圧延材の寸法に関する無次元パラメータβ(= h/b, ここに、hは出側板厚、bは板幅)と圧延材の材質に関す る無次元パラメータ $\gamma(=\sigma_m/E)$,ここに、 σ_m は単軸平均変形 抵抗, Eは縦弾性係数)の関数

で表現している。

また, 張力補正項C_{ET}は, 前方張力及び後方張力が形状変化 係数をに与える影響を記述したものである。

制御システム 3

本制御システムは、昭和56年10月から昭和59年9月にわたり 日新製鋼株式会社との共同開発により完成したものである。 図4に圧延設備と制御システムを示す。圧延設備は前段(F $1 \sim F3$)スタンドにHCW-MILLを,後段(F4~F6)スタンドに はHCMW-MILLを配列したものである。最終スタンド出側





26

注:略語説明 DDC(Direct Digital Control)

2次元板クラウンモデルの精度検証結果(HCMW-MILL) 図 3 縦軸に厳密理論計算値,横軸に数式モデル計算値をとっている。両者はよく一致 していることが分かる。

圧延設備とシステム $F1 \sim F3$: HCW $\leq JV$, $F4 \sim F6$: HCMW $\leq JV$, 义 4 F6出側に板クラウン検出器と形状検出器を設置している。

に板クラウン検出器と形状検出器を設置している。

本制御システムの特徴を挙げると、表1のようになる。板 クラウンを変化させると形状も変化するという相互干渉を考 慮したオンライン制御を,更に,操業に支障を来さないよう に,途中スタンドでの形状悪化を最小に抑えながら製品の板 クラウン,形状が目標値(板クラウンは用途に応じた大きさ, 形状はフラット)になるように制御を行なっている。なお、表 1の中で第4項は作業ロールを軸方向にシフトすることによ り同ロールの摩耗量と熱膨脹によって生じるサーマルクラウ ン量を相殺させることにより、作業ロールプロフィルを調整 するものである。本項はスケジュールフリー圧延実現の有力 手段と考えられている。

本制御システムで行なっている制御は,表2に示すように, (1) プリセット, (2) DDC, (3) 学習制御, の三つの機能である。 この3種類の制御は、図5に示すように前述の(1)式~(4)式を 基本とした数式モデルにより行なっている。以下、その内容 について述べる。

3.1 プリセット

図6に示すフローに従い、各スタンドの作業ロール位置 δ_W 、 作業ロールベンディング力F,中間ロール位置SIの決定を行 なう。このうち作業ロール位置 Swは, 前述のように摩耗を分 散させ、かつサーマルクラウンと相殺させるように設定され る。



制御用数式モデルの構成 × 5 すべてのモデルは. 板クラウン・形状 制御モデルを基本として作成している。



作業ロールベンディング力Fと中間ロール位置διは、許容

表 | 制御システムの特徴 圧延前に形状悪化が最小となるパターンで プリセットを行ない, 圧延中には最終スタンドで形状, その他のスタンドで板 クラウンの制御を行なう。また, 第4項目はスケジュールフリー圧延を実現す る有効な手段である。

No.	項目	内容
1	板クラウンと形状の同時 制御	途中スタンドの形状許容範囲内 最終スタンド 形状フラット
2	形状悪化を最小とする板 クラウン制御パターン	途中スタンドでの形状悪化を最小とする経路($\Sigma \lambda^2 \mu \rightarrow Min., N$:スタンド数)を選択した板クラウン制御パターン
3	板クラウンと形状の修正 スタンドの分離	板クラウン修正…No.1 ~ 最終直前スタンド 形 状 修 正…最終スタンド
4	作業ロールシフトによる 同ロールの摩耗分散	サーマルクラウンを打ち消すように,作業 ロールに摩耗クラウンを形成。

表2 制御項目とその内容 本制御システムは, 圧延前に行なうプリセッ ト, 圧延中に行なうDDC, 圧延後に行なう学習制御の3種により構成している。

項目	内容	い。プリセットでは、この乱れが最小となる作業ロールベ ディングカFと中間ロール位置のを決定し、良好な圧延を 現している。 3.2 D D C 圧延中に圧延材の板クラウン及び形状を制御するもので	
プリセット	各スタンドの各操作端の初期設定 作業ロール位置No.1~6(最終)スタンド 中間ロール位置No.4~6スタンド ベンディング力No.1~6スタンド		
DDC	板クラウン, 形状検出器による実測値と目標 値との偏差量に応じて,ベンディング力修正。 板クラウン修正No.1~5スタンド 形 状 修 正No.6スタンド	り, 最終(F 6)スタンドでは形状を制御し, 他のスタンドでは 板クラウンを制御する。 形状の制御は最終スタンド出側に設置した形状検出器の信 号をフィードバックして行なっている。この制御では, 最短	
学習制御	プリセットの精度向上 これまでの圧延での実績値と目標値から,両 者のずれ量の傾向調査。□次コイルに反映	時間整定を目的としてディジタル制御を行なっている。 板クラウンの制御は,圧延条件の変動による変化分を相殺 すべく作業ロールベンディング力を制御するものであり、サ	

図6 プリセットフローチャート 最適経路(ϵ_n^* , λ_n^*)は、スタンド間 の形状乱れが最小となる経路を意味する。

限界形状内で,かつ各スタンド間の形状の乱れが最小となる 条件の下に決定される。

このことを、図7に示す板クラウン・形状のベクトル線図 解析法を用いて説明すると次のようになる。

図7で,初期値(粗バー)と目標値(製品)はあらかじめ与え られるが、目標値に至る経路は許容限界形状を越えないこと はもちろんのこと、形状がフラット(=0)であることが望ま LV.

図7に示した実線と破線の二つの経路は、共に目標値に到 達しているが、スタンド間の形状の乱れは実線のほうが少な ベン を実

27

296 日立評論 VOL. 67 No. 4 (1985-4)



図7 ベクトル線図による板クラ ウン・形状制御説明図 目標の板 クラウン,形状の製品を得るには白丸,黒 丸で示すような経路があり,形状の乱れ が少ない黒丸の経路が優れている。最適 経路は形状の乱れが零となるケースであ る。

ーマルクラウンの生長やAGC(Automatic Gauge Control) による圧延荷重変動による板クラウン変化を補うことを目的 としている。

3.3 学習制御

28

4 成 果

図9,10に本制御システムによる成果を示す。図9は,目標クラウン60µm,目標形状0%(平たん)として制御を行な

通板中の圧延データを蓄積し,通板終了時点でプリセット に適応修正を行なうものである。本制御は,各種圧延条件の 変化に起因する圧延材の板クラウン・形状の目標値からのず れを取り除くことを目的としており,いわばシステムの直流 的誤差分を補償する制御ということができる。

以上述べた3種類の制御効果を図8に示す。1本目は、す べての制御を行なわない場合のチャートである。先端形状が ダウンコイラに巻き取られるまでの約15秒間乱れている。2 本目から3種類の制御を行なっている。2本目では、プリセ ットの効果により先端形状の乱れは1本目の約寸に減少し、 この乱れもDDCによる作業ロールベンダ操作で約5秒後に は平たんな形状に修正されている。更に3本目では、学習制 御によりプリセットに修正が加えられ、先端形状の乱れもな くなっている。

このように、3種類の制御を施すことにより先端形状の乱れもない良好な制御が実現できる。

1本目(制御OFF)	2本目(制御ON)	3本目(制御ON)
	DDCで形状修正	学習で次材に反映
申 12秒		
× 0/m	Λ	
<u>ا</u> 1×10 ⁻⁴		
× +		
ダ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0		
~ 乍 量		

った場合のトレンドグラフである。同図中,点は圧延材1本 を表わしている。圧延本数65本中59本が±10µm以内のばら つき範囲に収まっており,形状も良好である。図10は,同一 幅圧延材を70本圧延した場合の板プロフィルを表わしたもの である。ワークロールシフトの効果により,従来発生してい た板プロフィルの異常突起のない良好な圧延材が得られてい る。この効果により,同一幅圧延本数が従来の40本から150本 に飛躍的に増加したことを報告しておく。



図8 制御効果 |本目はすべての制御をオフしたときのチャートを,2 本目,3本目はすべての制御をオンしたときのチャートである。学習制御の効果 により,3本目には形状の乱れもない良好なプリセットを実現している。 図9 板クラウン・形状の変遷 板クラウン目標値を60µm,形状(急しゅん度)目標値を0%として制御した結果である。板厚,板幅は製品寸法を示している。

ストリップ圧延の板クラウン形状制御システム 297



図10 板プロフィル ワークロールシフトを行ない、同一幅圧延を70本 行なったときの板プロフィルである。70本目の板プロフィルにも,従来生じてい た異常突起は全く発生していない。



最後に,制御を行なった場合と行なわない場合の板クラウ ン実績値と目標値との偏差の分布を図11に、また形状の分布 を図12に示す。板クラウンの分散σは、制御しない場合に比べ 約号になり,形状の分散 のは約号に改善されていることが分 かる。このように、本システムを用いることにより、板クラ ウンについては目標値±7µm, 形状については目標値±0.2 %(急しゅん度)の制御が可能となった。

5 結 言

圧延材の板クラウンと形状を予測する汎用性のあるモデル 式を開発し、ストリップ圧延での板クラウン・形状制御シス テムを世界に先駆けて完成した。本システムによりユーザー の要求どおりの板クラウン,形状をもつ圧延材の生産が可能 となった。更に、 ワークロールシフトにより同一幅圧延本数 が従来の4倍まで可能になるなど、スケジュールフリー圧延 実現に向けて大きな前進を見た。本システムにより,鉄鋼産 業界の生産性向上及び品質向上に寄与できれば、これに勝る 喜びはない。

参考文献

- 1) 浅田,外:熱間仕上ミルにおける板クラウン・形状制御法の 開発(第1報), 第34回塑性加工連合講演会, 222

4)	山町、アド・窓间江上、アレーわりる扱ノノリノ・ルル町四次の
	開発(第2報), 第34回塑性加工連合講演会, 223
3)	浅田,外:熱間仕上用6段圧延機の圧延特性,第34回塑性加
	工連合講演会, 224
4)	粟津原,外:ホットストリップのクラウン・形状制御法に関す
	る研究(第6報),第30回塑性加工連合講演会,103
5)	粟津原,外:6重圧延機による板クラウン制御に関する研究,
	塑性と加工, Vol. 23, No. 263, 1172~1180(1982-12)

29



標準セル方式VLSIの配置手法とその評価

日立製作所 小澤時典

電子通信学会論文誌 J67-D-10, 1123~1130(昭59-10)

LSIの集積度は年々増加し、設計に多く の人手工数を要している。設計期間短縮の ため, 自動レイアウト システムが開発され, 使用されてきている。自動レイアウトでの 最も重要なことは, チップ寸法を小さくす ることである。設計者は、多大な人手工数 をかけて小さなチップを開発するか、自動 レイアウト システムを使用してチップ寸法 は少し大きいかもしれないが、短期間に少 ない工数でチップを開発するか、いずれか を決断しなければならない。したがって、 設計者は,自動レイアウト システムの質を 知る必要がある。本論文では、LSIレイア ウト設計の質を客観的に評価するための正 規化面積を定義し、具体的に3種の自動配 置手法の評価結果について述べた。

一般に、LSIレイアウト設計の質は、集

が,異なるプロセスに対しては集積密度は 設計の質を表わす良い尺度とは言えない。 このことは、レイアウト設計が設計基準, 特に配線格子間隔に支配されていることを 見落としていることに起因すると考えられ る。このため、我々は設計の質を表現する 指標として新たに1トランジスタ当たりの 正規化面積NAを定義した。NAは、配線格 子間隔で正規化したチップ面積を, 全素子 数で除した値である。この評価尺度を用い て実際の設計例を調べ, セル領域でNA= 5~12, 数百ゲートのブロック領域では, NA=14~20, チップ領域でNA=25~35で あることを確かめた。この値が、自動レイ アウトの目標値となる。

配置手法での評価関数は,仮想配線長の 総和とするのが一般的である。しかし, 仮 想配線長の計算方法には幾つかの考え方が あり,これまでミニマムスパン木,スタイ ナ木などが知られている。これらは配置可 能な位置が固定されたプリント板の配置に

よく用いられた。カスタムLSIの特徴は配 線領域の面積が可変であり、100%の配線を 達成するために必要な配線領域を確保し, その面積を最小化することを目標としてい るところにある。この目標に最も適した評 価関数として幹線長総和を選んだ。これが 配線トラック数最小化に寄与すると考え, 実験的にも確かめた。

評価した配置手法は、ネットバランス法 ジグザク2次元配置,及び2次元クラスタ リング配置である。またこれを組み合わせ た5種の配置手順について実験的に評価し た。評価に用いたLSIは、標準セル方式に よる500~2万ゲートのカスタムLSIである。 評価結果は、2次元クラスタリング配置手 法が最も面積利用効率が高い。すなわち, NA値が小さいことが分かった。500ゲート

積密度で表現される。集積密度は,単位面 積に何個の素子が入っているかを表わして いる。しかし、この値は、同一の半導体プ ロセスであれば設計の良さを表わしている

ブロックについては、6種平均でブロック 面積を人手よりも6.5%縮めることができた。

サブミクロンMOSトランジスタ | 次元テーブルモデル

日立製作所 松尾仁司・横溝剛一・他2名 電子通信学会論文誌 J67-C11, 833~839(昭59-11)

VLSIの発展に伴って、その中で使われ ているMOSトランジスタ回路は,ますます複 雑で高機能なものとなってきている。この ような回路を実現するためには、CAD(Computer Aided Design)技術の利用,特に,回

30

以上の結果から,本モデルはサブミクロ としないシミュレーションに用いられる場合 端子電流を各端子電圧から算出して求める ンレベルのMOSトランジスタを用いた回路 が多く、VLSIで使用される微細なMOSト もので,従来はその電流-電圧特性を複雑な を精度良くシミュレーションできる、実用 ランジスタでは、 微細化によって顕著にな 式で近似する,いわゆる式モデルが主流で 的な1次元テーブルモデルであるといえる。 る様々な現象の影響で誤差が15%以上にも あったが, 使いやすさや適用範囲に限界が なることがあり,正確な回路設計を行なう 特に,モデル作製の容易さと汎用性から, あり,汎用性に問題があった。そこで,電 多くのトランジスタを使用する回路設計に ためのモデルとしては不十分なことを明ら 流-電圧特性の測定データを直接テーブルの 適用すれば,設計効率の向上が図れること かにした。そこで、筆者らは、トランジス 形で計算機メモリ上に記憶し、それを参照 タの微細化が電流-電圧特性に及ぼす影響を を示した。 しながらシミュレーションを行なう, テー 検討し、この影響を二つの1次元テーブル ブルモデルが検討され始めている。特に,

1次元配列のテーブルだけを使用する方式 は,計算機のメモリ容量の面からも有用で あるため, 筆者らは, サブミクロンレベル のMOSトランジスタにも適用できる実用的 な1次元テーブルモデルの開発を行なった。

従来から使われている1次元テーブルモ 路シミュレーションが不可欠となっている。 計算値の相対誤差が平均4%弱と、従来の デルは、MOSトランジスタの電流-電圧特 したがって、シミュレータ自体も大規模な モデルに比べて約4倍モデル精度を改善で 回路を正確かつ短時間に解析できるもので 性から, その特徴を表わす四つの要素につ きることを示した。また、実用性の面から、 なければならないが、このシミュレータの いて、それぞれ1次元配列のテーブルを作 モデルの計算時間と必要な計算機メモリを 製し,これらのテーブル内のデータの組み 性能を左右する重要な要因のひとつに, ト 評価し, 式モデルに比べ劣らない性能をも 合せで電流特性を表現するものであった。 ランジスタモデルがある。 っていることを示した。 トランジスタモデルとはトランジスタの しかし、このモデルは従来あまり精度を必要

で表現して,新たに六つの1次元テーブル を使ったモデルを開発した。

このモデルが高精度であることを実証す るために、実際にこの方式を3種類の微細 トランジスタの電流-電圧特性に適用してモ デルを作製したところ,測定した電流値と