



Title	薄板圧延における可変クラウンロールに関する研究
Author(s)	富澤, 淳
Citation	大阪大学, 1994, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/39286">https://hdl.handle.net/11094/39286</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	富澤	淳
博士の専攻分野の名称	博士(工学)	
学位記番号	第 11579 号	
学位授与年月日	平成 6 年 10 月 19 日	
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 2 項該当	
学位論文名	薄板圧延における可変クラウンロールに関する研究	
論文審査委員	(主査) 教授 小坂田宏造 (副査) 教授 小倉 敬二 教授 吉川 孝雄 教授 斎藤 好弘 助教授 森 謙一郎	

### 論文内容の要旨

本研究は、薄板製品の幅方向の板厚分布の均一性や平坦度を向上させることを目的として開発された、可変クラウンロール（VC ロール）に関する研究である。油圧式 VC ロールは、スリーブ構造のロール内に高圧油を導入しスリーブのふくらみを制御することによって圧延材の幅方向板厚分布（板クラウン）・形状制御を行うものであり、制御の応答性にすぐれ、設備改造無しで圧延機の高性能化がはかれることから、現在、鉄鋼の冷間圧延・調質圧延・熱間圧延をはじめとしてステンレスや特殊鋼の圧延や、アルミニウム・銅といった非鉄分野でも広く使用されている。本研究は、油圧式 VC ロールの制御能力と特性を正確に把握し、既設圧延機の最適な操業条件と制御方法を明確にするとともに、新設圧延機における VC ロールの最適設計を確立することを目的としてなされた。さらに、近年ますます多様化する薄板製品の製造範囲の拡大と製品品質の厳格化に対応するため、現行の油圧式 VC ロールの長所を活かしつつ、より形状制御能力の高い新たな機械式可変クラウンロール（新 VC ロール）を開発することを目的としている。

第 2 章では、油圧式 VC ロールを 4 段圧延機のバックアップロールとして使用した場合の板クラウン・平坦度制御効果を推定する解析モデルの具体的計算手順を示している。解析モデルは、従来の分割モデルを基礎としたロールの変形と圧延材の変形を連成させたものであり、ロールの変形については、新たに高精度のスリーブのへこみ変形を考慮している。さらに、モデル試験および実機試験の結果と解析結果を比較することによって、本解析手法が実用上十分な精度を有することを検証している。本解析モデルの開発によって、VC ロールの制御能力と特性を正確に把握することが可能となり、現在、既設圧延機への油圧 VC ロール導入による効果の予測、新設圧延機の最適設計、実操業での最適な制御法の決定に寄与している。

第 3 章では、検証が遅れていたスリーブのへこみ変形を初めてモデル試験により実測し、有限要素法（FEM）による計算と比較することで、FEM によるへこみ変形の推定が可能であることを示した。さらに、FEM による計算結果を基準として、簡易的な初等解析法による変形解析手法を作成し、これまで不明だった圧延中の油圧式 VC ロールの母線形状を明確にした。すなわち、通常の圧延条件では VC ロールの内圧を最大とすれば、VC の母線形状が中実ストレートロールに比べてふくらみ側にあることを示し、また、スリーブ肉厚とへこみ変形・ふくらみ変形量との関係を明確に

することによってロール設計に有益な指針を与えた。

第4章では、VC ロールの制御特性がワーカロール細長比  $\lambda$ （胴長／ロール径）に大きく依存し、 $\lambda < 3$  では VC ロールとベンダの特性はほぼ等しいが、 $\lambda \geq 4$  では VC ロールは2次曲線、ワーカロールベンダは板端で変化の大きい高次曲線となることを、数値解析により明らかにしている。さらに、 $\lambda = 3$  及び  $\lambda = 5$  の寸法の異なる2つの鉄鋼の冷間圧延機に VC ロールを導入し、解析で予測された VC ロールとワーカロールベンダの制御特性を検証している。特に、 $\lambda = 5$  の中径ワーカロールを有する4段圧延機では、VC ロールが2次、ワーカロールベンダが4～5次の高次特性となり、これらの異なる制御特性の組合せにより広範囲の形状制御能力が可能なことを解析および実機試験により明らかにした。従って、VC ロールの平坦制御能力を最大限に發揮せしめるためには、 $\lambda > 4$  のロール寸法を選定することが重要である。さらに、連続ラインにおける調質圧延機として要求される機能を示し、VC ロールがこれらの基本性能を満足することを明らかにした。また、連続焼純ラインにおける調質圧延機を想定した数値解析を行い、複合形状制御という観点からも、6段圧延機と比較して VC ロールを有する4段圧延機が優れることを示した。

第5章では、アルミニウム箔圧延機における VC ロールとワーカロールベンダの制御特性を数値解析と実機試験により論じている。アルミニウム箔圧延機は、ロール径が小さく  $\lambda = 7$  の圧延機が一般的である。前章の結果で示唆された様に、通常の圧延においては VC ロールとベンダは制御特性が異なり、これらの組合せによってすぐれた制御効果が得られるが、上下ワーカロールの両端が弹性接触を起こす、いわゆるキスロール圧延においては、ワーカロールベンダの制御効果は小さく、通常の圧延と特性が逆転する場合があることを明らかにした。一方、VC ロールはキスロール圧延においても、通常圧延と同様の良好な形状制御効果を発揮する。これらの結果をもとに、形状検出器の信号をフィードバックし、VC ロール、ワーカロールベンダ、クーラントスプレーを組合せた自動形状制御システムを実用化、実操業での効果を示した。さらに、ロール胴長約  $1/4$  の位置に2つの受圧室を有する VC ロールと、通常 VC ロールの組合せにより複合形状制御効果が拡大することを、数値解析により明らかにした。

第6章においては、油圧式 VC ロールよりもさらに板クラウン・形状制御能力の大きい新たな機械式可変クラウンロール（新VC ロール）の提案を行っている。すなわち、新 VC ロールは、転がり軸受アーバに傾斜固定し最外周にスリープを遊嵌した構造であり、アーバの位相角を調整することによって、板クラウンや圧延材の形状を制御するものである。モデル試験により、新 VC ロールが油圧式 VC ロールの約3倍のクラウン・形状制御能力を有することを明らかにした。さらに、モデル試験により軸受の水平傾斜配置が軸受性能に及ぼす影響は大きな問題にならないことを確認し、軸受温度の上昇を推定する簡易式を導き、実機に必要とされる潤滑油の供給量は設備設計上実現可能な値であることを明確にした。これらの検討から、新 VC ロールの実用化の展望が開かれた。

第7章では、新 VC ロールの設計に不可欠な変形解析手法の確率を目的として、アーバ、軸受、スリープおよびワーカロールを全て要素分割し、各部の接触を考慮したFEM モデルを構築した。なお、本モデルでは、軸受は中実弾性体とみなし、モデル試験により量化した等価弾性定数を与えていた。本解析で得られた圧延中の軸受負荷される荷重とスリープの表面応力は、実測値と良く一致することが検証された。また、軸受とスリープ間の局所的な面圧分布を推定する FEM モデルを作成し、軸受外輪形状の最適化を可能とならしめている。これらの変形解析モデルの開発によって、実機ロールのスリープと軸受の最適設計に有効なデータを得ることが可能となった。

第8章では、前述の解析モデルを用いた新 VC 実機ロールの軸受とスリープの耐久性を考慮した。最適設計の概要を示し、実圧延機での制御効果について述べている。実機試験により、従来の油圧式 VC ロールに比べて、新 VC ロールが約2.5 倍のクラウン制御能力を有することを確認し、さらにその制御特性は単純伸びの制御に有効であることを明らかにした。すなわち、ロールたわみを補償するアクチュエータとして新 VC ロールを活用できることを明確にした。なお、複数個の軸受を内蔵していることに起因する圧延材の品質への悪影響は、全く認められなかった。また、新 VC ロールを導入することによって、圧延機の総剛性は約25 % 低下するため、ロール導入時にはこの剛性低下を考慮した自動板厚制御（AGC）の調整が必要であることを明らかにした。

## 論文審査の結果の要旨

薄板圧延は、連続鋳造されたスラブを熱間および冷間圧延することによって製造されるが、近年板厚精度に対する要求が高まっている。本研究は、圧延加工において板厚精度を向上させるための可変クラウンロールに関するものであり、その開発に関する問題点を解決している。可変クラウンロールは、圧延機のロールプロフィールを変化させ、幅方向に均一な板材を製造するものである。油圧式と機械式の二つの可変クラウンロールに関して研究を行っている。

油圧式可変クラウンロールにおいては、まずロールの変形を考慮した圧延解析モデルを提案している。ロールの弾性変形解析には分割モデルを、板材の塑性変形解析には3次元スラブ法をそれぞれ用い、これらの影響を連成させて解析している。また、ロールのスリーブのへこみをより詳細に解析するために、有限要素法を用いた計算を行っており、圧延中のロール母線形状を求めている。得られた数値解析法を基にして、油圧式可変クラウンロールの圧延機の形状制御特性を明らかにし、実測したデータとの対比を行っている。求められた制御特性を基にして、鉄鋼冷間圧延におけるロールとベンダの制御特性を調査し、ロール胴長がロール径の4倍以上であると高い平坦度が得られることを示している。さらに、アルミニウム箔圧延に可変クラウンロールを適用し、従来の圧延ロールよりも高い精度が得られることを明らかにしている。

油圧式可変クラウンロールでは変化できるロールクラウン量は大きくないため、新しい機械式可変クラウンロールを開発している。曲がっている軸にスリーブを複数の軸受によって装着し、軸の曲がりによって回転するスリーブにクラウンが生じ、軸の角度を変化させることによってクラウンを適当に変えることができる。モデル実験によって軸受の信頼性を確かめるとともに、機械式は油圧式に比べて高い制御能力があることを明らかにしている。また、ロール、軸受、スリーブの設計に対して必要なデータを得るために、機械式に対する解析モデルを提案し、実験結果との比較から計算結果が妥当であることを示している。さらに、機械式を実際の圧延機に応用して主要寸法と最適形状を決定し、油圧式の約2.5倍の制御能力を有することを明らかにしている。その制御特性は中伸び、耳波の制御に有効であり、ロールたわみを補うアクチュエータとして活用できることを示している。以上の成果は、板材の圧延加工に関して有益な新しい知見を与えるものであり、生産加工技術の進歩に貢献するところ大であり、博士（工学）論文として価値あるものと認める。