

審査の結果の要旨

氏名 村上 晃

工学修士 村上 晃 提出の論文は「冷間タンデム圧延機におけるパススケジュールの最適化に関する研究」と題し、6章と補遺からなっている。

冷間タンデム圧延機では、原板である熱延鋼板を、複数スタンドのロールにより連続して薄く圧延し、目標の最終板厚を持つ冷延鋼板を製造する。鋼板の板厚精度の向上は、自動車などの軽量化に向けて使用が増している高張力鋼板などで強く求められている。筆者は、従来は経験的に決められてきた各圧延スタンド間の板厚目標値と張力目標値とを不確定性を考慮した最適化手法によって求め、複数の圧延スタンドの圧延荷重・モータ電流を最適に制御する方法をそれぞれ提案し、その効果を実際に確認することを試みている。

第1章は序論であり、研究の背景、冷間圧延の板厚張力制御に関する研究をまとめ、本研究の目的と概要について述べている。

第2章では冷間圧延の概要を述べ、最適化に関する課題について整理している。冷間タンデム圧延機では、原板である熱延鋼板を、複数スタンドのロールにより連続して薄く圧延し、目標の最終板厚を持つ冷延鋼板を製造する。本研究では5台の圧延スタンドを対象に、各スタンド出側の板厚と各スタンド間の張力とを各スタンドにおけるロールの压下位置と回転速度を制御することによって最終板厚を目標値に近づける多入力多出力制御系として問題を定式化している。そして、その制御問題を、スタンド出側板厚の目標値とスタンド間張力の目標値とを事前に設定するパススケジュール最適化問題と、パススケジュールによって決まる制御入力を、誤差や鋼板の変動を考慮して実時間で制御する最適制御問題に分割することを説明している。

第3章では、板厚目標値の最適化について述べている。特に、モデル等に不確定性がある場合の最適化に関して、数理計画法の1つである機会制約条件計画問題を用いてパススケジュールを設計する手法を提案している。機会制約条件計画問題では、不確定性について確率分布を仮定するケースが多いが、過去の実績圧延入出力データと圧延モデルを用いることにより、変数の確率分布を仮定することなく、実際の変動を直接的に反映し、シグモイド関数で制約条件を近似し、逐次2次計画法を適用した。さらに、各制約条件の確率を個別に緩和することで、制約の優先順位付けを可能とした。板厚目標値のパススケジュール設計に本手法を適用することで最適化し、高張力鋼板の板厚公差外れ長さに

ついて、13~35%の低減効果を確認している。

第4章では、張力目標値の最適化について述べている。対象圧延機では、圧延速度に依存して張力目標値を鋼板の板厚と板幅で決まる領域（升目）ごとに張力カーブとして与えている。この張力カーブを、静的な圧延モデルをもとに、領域全体を近似する近似曲面として最適化する効率的な方法を提案し、その方法により実機適用の結果、特に減速時において目標板厚を満たせないオフゲージ長さが平均で37%減少したことを確認している。

第5章では、圧延機の圧延荷重・モータ電流を最適制御問題として実時間制御する方式を述べている。第3章、第4章でパススケジュールを設定して各スタンドの压下位置、回転速度を設定しても、誤差や圧延中の鋼板の硬さの変化等に対応するため、最終板厚精度を維持しつつ、パススケジュールを変更し、圧延機（ミル）の圧延荷重やモータ電流を制御する必要がある。このミルバランス制御において、I L Q（Inverse Linear Quadratic）制御法を用いた結果、圧延荷重変動を抑制し良好な板形状が確保できるとともに、最終板厚の精度が維持されることが確認された。また、圧延条件の誤差等により一部のスタンドのモータ電流が過大な場合であっても、圧延速度の減速なしにモータ電流を低減でき、この結果、圧延速度を平均で2.4%増加することができ、生産性を高く維持することが可能であることを確認している。

第6章は結論であり、本研究の成果をまとめると同時に、さらなる研究課題について述べている。

以上、要するに、本論文は、鋼板の冷間タンDEM圧延において、各圧延スタンド間の板厚目標値と張力目標値をパススケジュールとして最適化手法により設定し、複数の圧延スタンドの圧延荷重・モータ電流を最適制御する方法を提案し、その効果を実際に検証した。これらの成果は、制御工学上貢献するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。