

博士学位論文審査要旨

氏名	脇谷 趣聞		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第308号		
学位授与の日付	2024年3月31日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
学位論文の題目	超精密工作機械用スピンドルシステムの熱的安定化に関する研究		
論文審査委員	主査	神奈川大学 教授	中尾 陽一
	副査	神奈川大学 教授	江上 正
	副査	神奈川大学 教授	中西 裕二
	副査	神奈川大学 教授	原村 嘉彦
	副査	神奈川大学 教授	山崎 徹
	副査	神奈川大学 教授	由井 明紀

【論文内容の要旨】

本研究は、工作機械用スピンドルの熱的安定性の向上を目指して行なったものである。特に、微細形状に対する超精密加工の更なる高精度化・高効率化の実現を目指し、超精密工作機械用スピンドルシステムの熱的特性を考慮した設計評価技術、制御技術に関する検討を行ったものである。

熱的安定化・熱的安定性とは、装置の発熱状態が変化した場合においても、要求された精度を維持できる性能、すなわち、発熱に伴う温度上昇や熱変形、熱変位への影響が小さい性能を指す。本研究では、超精密工作機械用スピンドルの高い熱的安定性を実現するため、1)発熱による温度変化および熱変位抑制が可能な最適構造設計と、2)発熱および温度分布によって発生する熱変位の補償技術を組み合わせることで、スピンドルシステムとして、統合的に工作機械の加工精度低下の要因である熱源や熱変形、熱変位への対策を図り、その評価が行われている。具体的には発熱による温度変化、内部温度分布の実用的に求められる精度での予測評価技術の検討結果が取り扱われている。

さらに、スピンドル回転軸の熱変位制御機能付与が可能な独立3冷却構造を有する空気静圧ビルトインモータスピンドルの設計・開発を行ったうえ、開発したスピンドルの熱的特性を明らかにしている。一連の研究の中で、スピンドルの非回転、回転、それぞれの状態における温度分布ならびに熱変形状態を実験と3次元熱流体解析、3次元熱解析を組み合わせることで評価することによって、スピンドルの熱変形特性が明らかにされている。

以上の温度分布評価と熱変形特性に加えて、スピンドルの熱変位補償を目的にして、独自のフィードバック温度制御システムを、ビルトインモータスピンドルに適用することにより、スピンドルの熱的安定性の向上効果の検証結果が述べられている。具体的には、異なる液温の流体を任意混合比により逐次制御し、制御対象、すなわちスピンドル温度を目標温度に保つシステムが構築され、発熱量が変動する場合にもスピンドル温度を一定に維持可能な結果が示されている。

【論文審査の結果の要旨】

本論文の研究成果で、特に高く評価できる点は、下記の通りである。

- 1) 独立した冷却流路を具備した3種類の冷却構造を提案することで、高い熱的安定性が期待できるスピンドルの設計・開発を行った点
- 2) 実際に製作されたスピンドルを用いて性能評価を行い、非回転時および回転時の異なる観点から熱的特性を定量的かつ詳細に明らかにしたうえ、実験結果を基にした3次元熱流体解析手法を用いることにより、実験的に把握が困難なスピンドル内部の温度特性を明らかにしたうえ、スピンドル回転軸の熱変位制御機能付与の可能性を示した点
- 3) 発熱要素に対する温度制御技術として開発されたフィードバック温度制御システムを用い、その温度制御性能を実験的に評価することで、スピンドルの回転数変化によって逐次変化する発熱に対し、高い温度制御性能を有することを明らかにしたうえ、開発したスピンドルに適用することで、超精密工作機械用スピンドルシステムの更なる熱的安定化に貢献しうる可能性を示した点

以上のように、本論文は、工作機械の加工精度を低下させる主要因の一つである熱変形問題に対して、超精密工作機械用スピンドルの最適構造設計、温度変化予測とその制御に関する新たな知見を含んでおり、今後、熱的安定性に優れた工作機械用スピンドルの開発に繋がる成果であるといえる。よって、本論文は、博士論文として十分に合格に値するものと認定する。