

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	工作機械用転がり軸受主軸における工具回転非同期振れによる加工面への影響の低減
Title(English)	
著者(和文)	正和裕太
Author(English)	Yuta Showa
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11918号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:吉岡 勇人,吉田 和弘,進士 忠彦,松村 茂樹,田中 智久
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11918号, Conferred date:2021/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第 号			学位申請者氏名		正和 裕太	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名	
	主査	吉岡勇人	准教授	審査員	田中智久	准教授	
	審査員	吉田和弘	教授				
		進士忠彦	教授				
		松村茂樹	准教授				

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「工作機械用転がり軸受主軸における工具回転非同期振れによる加工面への影響の低減」と題し、緒論及び結論を含む全 5 章から構成されている。

第 1 章「緒論」では、主に光学や医療分野における製品の高機能化や形状多様化に伴い精密金型の更なる面品位向上が要求される一方、手作業による磨き作業が難しい複雑形状の需要も増大しており、切削加工による高品位な仕上げ面創成が必要であると述べている。切削加工によって高品位な仕上げ面を得るためには、工具回転非同期振れ(Non-repeatable run-out, 以下 NRRO)に代表される微小振動が加工面へ与える影響を低減する必要がある。工作機械用主軸の軸受として広く採用されている転がり軸受には、転動体公転運動に起因する NRRO が存在するが、この NRRO が加工面へ与える影響を低減する方法はいまだ実現されていない。以上の背景から、本研究では転がり軸受の転動体公転運動に起因する NRRO による加工面への影響の低減を目的とし、振動に合わせて主軸頭を加振することで被削材に対する影響を抑制するシステムを提案及び評価を行っている。また 加工面における NRRO 成分を 0.05 μm 以下に抑制することを最終目標に設定している。

第 2 章「工具回転非同期振れによる加工面への影響を低減する加振システムの提案」では、提案する加振システムのコンセプト及び工具と被削材との相対変位における NRRO 成分の評価方法について述べている。まず転がり軸受を組み込んだ主軸の NRRO を回転速度 30,000 min^{-1} で評価した結果、軸受諸元から決定される NRRO 周波数付近に三つの振動ピークが存在し、それぞれが時間経過に応じて変化することを確認している。この結果から、センサ系、信号処理系、並びに加振装置により構成される主軸頭加振システムを新たに提案している。提案するシステムは、バンドパスフィルタにより抽出した NRRO 信号を用いて、空気静圧軸受支持した可動質量をボイスコイルモータにより駆動することで主軸頭を加振することで、被削材に対する工具振動を抑制する。本システムの特徴として、主軸等速回転中に変化する NRRO 挙動に追従可能、大きく設計変更することなく既存の主軸系に組み込み可能、加振システムを多軸化することで平面内の NRRO を低減可能である点を挙げている。提案する加振システムの基本特性を実験的に評価し、入力電圧と加振力との関係に線形性を有すること、主軸回転速度に対応する周波数範囲において指令値通りの加振力を発生可能であることを確認している。

第3章「工具回転非同期振れによる加工面への影響を低減する加振システムの評価」では、提案する加振システムによる NRRO 低減性能に関して、振動振幅および加工面品位の観点から評価を行っている。具体的には、Y 軸を対象とした一軸方向の加振システムを対象に、工具と主軸頭との相対変位の NRRO 成分をフィードバックした場合、主軸回転速度 $30,000 \text{ min}^{-1}$ では振動振幅を約 50 %低減可能なものの、 $40,000 \text{ min}^{-1}$ では逆に増大することを確認している。この原因として、工具と被削材との相対変位には主軸振動に加え主軸頭振動が含まれることを実験的に明らかにしている。この結果に基づき、新たな制御法として、主軸頭に固定した変位計による工具相対変位と、加速度計により測定した主軸頭の振動とを同時に考慮したフィードバック制御を提案している。実際に単結晶ダイヤモンド工具を用いた精密加工を行い、得られた加工面断面プロファイルの評価することで、いずれか一方をフィードバックする加振システムよりも高い NRRO 低減効果が得られることを明らかにしている。

第4章「二軸同時加振システムによる加工面品位の改善」では、前章で有用性を確認した加振システムを拡張した二軸同時加振システムの評価を行っている。具体的には、加振装置の支持機構を板ね構造に変更することで軽量化を行い、二つの加振装置を X 軸及び Y 軸方向に直交配置することで、XY 平面内の NRRO を低減可能な二軸同時加振システムを構築している。実際に回転速度 $40,000 \text{ min}^{-1}$ における NRRO 低減効果について振動変位による評価を行い、X 軸及び Y 軸方向における低減効果はそれぞれ 41 %及び 60 %であり、二軸間の干渉も無視できることを確認している。さらに、実際に精密仕上げ加工実験により NRRO 低減効果の評価を行い、計測した加工面断面プロファイルにおいて隣接する加工跡高さの差が低減、すなわち加工面品位が向上していることを確認している。最後に、断面プロファイルから NRRO 成分を抽出し定量的に評価を行った結果、X 軸及び Y 軸方向における NRRO 成分の平均値はいずれも $0.03 \mu\text{m}$ であり、目標値 $0.05 \mu\text{m}$ 以下を達成している。

第5章「結論」では、本論文で得られた研究成果を総括するとともに、今後の課題および更なる研究展望について述べている。

以上を要するに、本論文は転がり軸受主軸を有する精密工作機械を対象に、工具回転非同期振れによる仕上げ加工面への影響の低減を目的として、NRRO に起因する振動信号をフィードバックし主軸頭を加振するシステムを提案している。実際に加振ユニット試作、工具振動抑制の実証、並びに実加工実験による加工面への影響低減を確認しており、工学上および工業上寄与するところ大である。よって本論文を博士（工学）の学位論文として十分に価値があるものと認める。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。