

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)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of (工学)
学生氏名： Student's Name	正和 裕太		指導教員 (主)： 吉岡 勇人 准教授 Academic Supervisor(main)
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

近年、主に光学機器や医療機器といった分野の金型において、製品の高機能化や高デザイン化に伴う面品位の向上が求められている。また、磨き作業の難しい複雑形状を有する金型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の創成への期待が高まっている。切削加工による高品位な仕上げ面を実現するためには、工具回転非同期振れ(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 による加工面への影響を低減する方法についてはまだ実現されていない。本研究では、NRRO による加工面への影響の低減を目的として、NRRO に対して相対振動を励起する加振システムを提案した。

本論文は全 5 章で構成され、各章の内容は以下の通りである。

第 1 章では、工具回転振れを測定しながらの加工実験を行い、一枚刃の工具を使用した切削加工においては、回転同期振れ(RRO)は加工面へ影響を与えず、NRRO は加工面へ影響を与えていることを確認し、NRRO 低減の重要性を示した。また、工作機械用転がり軸受主軸においては、転がり軸受の転動体公転運動に起因する NRRO の影響が大きいことを示した。

第 2 章では、本研究で提案する加振システムのコンセプトならびに工具と被削材との相対変位における NRRO(NRRO_T)の評価方法について述べた。加振システムのコンセプトは、以下である。(i)加振システムは、主軸頭を加振することにより NRRO_Tを低減するシステムであり、既存のマシニングセンタおよび主軸に大きな改造をほどこすことなく組み込み可能である。(ii)マシニングセンタに組み込んだセンサにより測定した NRRO を加振装置への入力信号とすることにより、NRRO の大きさや周波数の変化に追従可能である。(iii)加振力および加振位相は、主軸回転速度に応じて任意に調整可能である。(iv)直交する二軸方向に同時加振を行うことにより、XY 平面上において NRRO_Tを低減可能である。NRRO_Tの評価方法として、テーブル上に固定した変位センサにより測定した工具回転振れをフーリエスペクトルへ変換し、該当する周波数ピークに着目する方法を提案した。また、バンドパスフィルタ(BPF)の使用により、RRO と NRRO が混在した工具回転振れから NRRO 成分を抽出可能であることを示した。さらに、三つの転がり軸受を組み込んだ主軸の NRRO を評価した結果、フーリエスペクトルにおける該当周波数付近に三つのピークが存在し、それぞれのピークが主軸回転開始からの時間経過によって変化することを確認した。

第 3 章では、加振システムの評価について述べた。まず加振システムによる NRRO_T低減のシミュレーションを行い、本研究で提案する加振システムの有効性を示した。また、実際に加振実験を行った結果、NRRO_Tを低減するためには、複数のピークを考慮した加振システムが必要であることを確認した。次に、主軸の NRRO(NRRO_{SP})と主軸頭の NRRO(NRRO_{SH})をそれぞれ測定し、NRRO_Tは NRRO_{SP}と NRRO_{SH}とを合算したものであることを確認した。また、30,000 min⁻¹および 40,000 min⁻¹について NRRO_{SP}または NRRO_{SH}を低減する加振システムによる NRRO_Tの低減効果を評価し、予測した低減効果とおおよそ同じ傾向の結果を得た。さらに、実際に加工実験を行い、加工面の断面プロファイルのフーリエスペクトルにより、NRRO による加工面への影響(NRRO_M)の低減効果を評価した。その結果、NRRO_Tの低減効果と NRRO_Mの低減効果との間には相関関係があり、NRRO_Tの測定により、NRRO_Mが予測可能であることを示した。また、NRRO_{SP}および NRRO_{SH}を同時に考慮した加振システムを提案し、いずれか一方を低減する加振システムよりも高い NRRO_Tの低減効果が得られることを示した。

第 4 章では、二軸同時加振システムによる加工面品位の改善について述べた。二つの加振装置を Y 軸方向および X 軸方向に直交配置した二軸同時加振システムを提案し、40,000 min⁻¹について NRRO_Tの低減効果の評価を行った。Y 軸方向における低減効果は 60 %、X 軸方向における低減効果は 41 %であり、XY 平面上における NRRO_Tの低減が可能であることを示した。また、加振システムは主軸の個体差に起因する NRRO の変化に追従可能であり、第 2 章で示したコンセプトを全て満たしていることを示した。さらに、実際に加工実験を行い、NRRO_Mの低減効果の評価を行った。断面プロファイルにおける隣接するカスプ高さの差による評価を行い、隣接するカスプ高さの差、すなわち加工面品位を改善できていることを示した。最後に、BPF により断面プロファイルから NRRO_M成分を抽出し、NRRO_Mの大きさの評価を行った。Y 軸方向における低減後の NRRO_Mの平均値は 0.03 μm、X 軸方向における低減後の NRRO_Mの平均値は 0.03 μm であり、目標値である 0.05 μm を達成した。

第 5 章では、工作機械用転がり軸受主軸における NRRO による加工面への影響の低減について総括した。

以上の結果から、本研究の成果はマシニングセンタによる加工面品位の改善に寄与し、その結果として、工業製品の生産性向上に貢献できるものと考えられる。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。
Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).
注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(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。
Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位（専攻分野）： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	（工学）
学生氏名： Student's Name	正和 裕太		指導教員（主）： Academic Supervisor(main)	吉岡 勇人 准教授	
			指導教員（副）： Academic Supervisor(sub)		

要旨（英文 300 語程度）

Thesis Summary (approx.300 English Words)

In recent years, the demands for mirror finishing by cutting have increased, because the surface quality requirement in die and mold has become severer. In order to realize mirror surface finish by cutting, it is necessary to reduce the influence of tool non-repeatable run-out (NRRO) on machining surface. Rolling bearings used in a spindle for machine tools may cause NRRO of cutting tool due to rolling element revolution. In order to reduce the influence of NRRO on machining surface, an excitation system that can generate counter excitation force has been proposed in this study.

This thesis consists of 5 chapters, and the contents of each chapter are as follows.

In Chapter 1, machining experiment while measuring tool run-out results confirmed that when using a single flute tool, repeatable run-out (RRO) does not affect machining surface, but NRRO does. These results show the importance of NRRO reduction.

In Chapter 2, the concept of the proposed excitation system and the evaluation method of NRRO in the relative displacement between the tool and the workpiece ($NRRO_T$) are described.

In Chapter 3, the evaluation of the excitation system is described. Excitation experiment results confirmed that the proposed excitation system can reduce $NRRO_T$. Furthermore, actual cutting results confirmed a correlation between the reduction of $NRRO_T$ and the reduction of the influence of NRRO on machining surface.

In Chapter 4, the improvement of the machining surface quality by the two-axes simultaneous excitation system is described. Excitation experiment results confirmed that $NRRO_T$ in XY plane can be reduced by the two-axes simultaneous excitation system with two excitation units arranged orthogonally in Y-axis and X-axis. Furthermore, actual cutting experiment results confirmed that the difference in the height of neighboring cusps reduced by excitation. It implies the improvement of the machining surface quality.

In Chapter 5, the reduction of the influence on machining surface caused by NRRO of rolling bearing spindle for machine tools is summarized.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(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。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).