

氏名	やまざき りょう <b>山崎 遼</b>
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	博甲第954号
学位授与の日付	令和2年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 設計工学専攻
学位論文題目	<b>複合加工機のための円筒研削加工技術 Turn Grinding に関する研究</b>
審査委員	(主査)教授 森田辰郎 教授 村田 滋 准教授 射場大輔 京都工芸繊維大学 名誉教授 太田 稔 准教授 江頭 快

## 論文内容の要旨

製造業における、リードタイム短縮によるコスト削減への要求は年々増加の一途を辿っている。リードタイムの短縮を目的に、これまで専用の研削盤で行われていた研削仕上げ工程を、切削加工用の複合加工機に集約する「複合化」が求められているが、十分な加工精度が得られないことが課題であった。本研究は、加工技術的な観点から複合加工機に適した研削方法を提案することで、複合加工機による研削加工の高精度化を達成できないか検討したものである。これまでの円筒研削法とは全く異なる複合加工機のための研削方法として、砥石軸と工作物軸を直交ないし所定量傾斜させながら加工する **Turn Grinding** を提案し(以降、とくに砥石軸と工作物軸が直交する場合を直交式 **Turn Grinding** と呼ぶ)、**Turn Grinding** によって、従来方法と比べて加工精度と表面粗さが向上することを、幾何学的な研削理論の解析と複合加工機による比較実験から明らかにしている。また、部品表面に微細な周期構造を創成することで、トライボロジ特性などの部品表面の機械的特性を向上させる微細構造創成技術に着目し、**Turn Grinding** を応用した機能創成加工法を提案し、砥粒切れ刃の運動軌跡の解析と検証実験から、提案手法の可能性と課題点を示している。本論文は全7章で構成されている。

第1章は、序論であり、本研究で **Turn Grinding** を提案するに至った背景と研究目的について述べている。はじめに複合加工機による研削加工が求められている背景と具体的な市場をひとつ例に挙げて、課題点や目標となる加工精度を検討した。また、複合加工機と研削盤の違いについて整理し、複合加工機による研削加工の課題点とそれを改善する上で重要な先行研究について述べ、最後に **Turn Grinding** の定義と本研究の目的を述べている。

第2章では、直交式 **Turn Grinding** が、そもそも円筒研削法として十分な加工精度を得ることができるかどうか確認するための基礎実験について述べている。精密微細加工機と複合グライディングセンタを使用して、直交式 **Turn Grinding** によって鏡面研削が可能であることを示している。

第3章では、幾何学的な研削理論の解析と、その妥当性を検証した比較実験の結果について述べている。砥粒切れ刃の運動軌跡から切りくず形状を解析し、直交式 **Turn Grinding** と円筒トラ

バース研削を比較検討した。直交式 **Turn Grinding** は円筒トラバース研削と比較して、砥粒切込み深さと切込み角が小さくなり、かつ砥粒切れ刃の接触弧長さが長くなるため、研削抵抗の抑制効果および表面粗さの向上効果があることがわかった。その後、複合加工機を用いた実証実験によって実際に加工精度と工作物表面粗さが向上することを明らかにしている。

第 4 章では、つづく第 5 章において直交式 **Turn Grinding** の研削条件が研削性能に及ぼす影響を検討するための予備実験として、**cBN** カップ形砥石のツルーイング・ドレッシング条件について検討した結果について述べている。カップ形砥石は砥石作用面内で砥石周速度に差が生じる。そのためツルーイングによって形成される砥粒切れ刃先端の形状にも差が生まれる。しかし、研削抵抗や表面粗さに大きな影響を及ぼすのは、砥石内周部分の砥粒切れ刃の形状であることがわかった。また、**WA** ステック砥石によるドレッシング実験も行い、最適なドレッシング条件を明らかにしている。

第 5 章では、直交式 **Turn Grinding** において、砥石-工作物周速度比をはじめとする種々の研削条件が研削抵抗と表面粗さに及ぼす影響を実験的に検討した結果について述べている。第 3 章で明らかにした砥粒切込み深さや切込み角の減少効果は、研削条件の中でも砥石と工作物の周速度比の影響を大きく受けるため、砥石-工作物周速度比によっては砥粒切込み深さと切込み角が小さくなりすぎて、良好な研削ができない可能性がある。直交式 **Turn Grinding** の適切な研削条件を設定する指針を得ることを目的に、研削条件が研削抵抗と工作物表面粗さに及ぼす影響について実験的に検討した。その結果、砥石周速度を一定として砥石-工作物周速度比を小さくする、あるいは砥石周速度と砥石-工作物周速度比をともに増大させたとき、表面粗さが減少傾向にあることがわかった。

第 6 章では、**Turn Grinding** による機能創成加工法を提案し、その概要と基礎実験の結果について述べている。第 2 章で検討した砥粒切れ刃の運動軌跡の理論式を拡張し、砥石の姿勢を変数に加えて、工作物表面に形成される研削条痕のピッチや長さを幾何学的に算出した。その後、複合加工機による検証実験により、幾何学的に算出した通りの研削条痕が形成されることを確認したことで、**Turn Grinding** によって機能創成加工が実現できる可能性があることを示した。また、同時に達成すべき複合加工機の課題について述べている。

第 7 章は結論であり、本論文で得られた結果をまとめている。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、切削用の複合加工機による新たな研削加工技術を提供しようとするものである。切削加工と研削加工を 1 台の工作機械に集約する「複合化」に関しては、剛性と精度の両立など工作機械としてのハード面での開発がコスト的な制約となり、普及が進んでいない。本研究は、従来のハード面からのアプローチではなく研削加工技術というソフト面からのアプローチにより、複合加工機による研削加工を低コストで実現しようとしたものである。特に、複合加工機による研削では円筒研削が最大のネックとなっている。そこで、本論文では、円筒研削のための新たな研削方法として、砥石軸と工作物軸を直交ないし所定量傾斜させながら加工する **Turn Grinding** を提案し、その有効性を検証している。まず、研削理論に基づく幾何学的な解析および研削加工

実験により、直交式 Turn Grinding と従来の円筒研削を比較しながら、直交式 Turn Grinding の加工特性を解明し、円筒研削に対する優位性を明らかにしている。また、直交式 Turn Grinding におけるツルーイング・ドレッシング特性を検討するとともに、研削加工条件が研削抵抗や表面粗さなどの加工精度に及ぼす影響を明らかにすることによって、Turn Grinding における研削条件の選定指針を得ている。さらに、砥石軸を所定量傾斜させて研削加工を行う新たな表面微細構造加工法を提案し、砥粒切れ刃の運動軌跡の解析と検証実験から、提案手法の有用性を示している。

このように本論文では、Turn Grinding の研削幾何学的解析および研削実験による検証によって、その特性を明らかにしており、工学的に有用な論文と認められる。また、Turn Grinding という新たな研削加工技術を提案し、その有効性を実証したことは、多品種少量生産システムにおける加工工程の集約化と複合化を強力に推進する画期的な加工技術を提供する可能性があるものと期待でき、工業的な価値も高いものと考えられる。

本論文の内容は以下の 3 報の学術誌として公表または公表予定であり、すべて申請者を筆頭著者とするものである。

- (1) Ryo Yamazaki, Minoru Ota, Kai Egashira and Keishi Yamaguchi, Effect of Rotary Truing Parameters on Turn Grinding Using Metal-Ceramic Bonded cBN Cup Wheel, International Journal of Abrasive Technology. (掲載決定日:2019年8月15日, Proceedings of The 22nd International Symposium on Advances in Abrasive Technology 掲載論文と同内容)
- (2) 山崎遼, 太田稔, 江頭快, 山口桂司, Turn Grinding の幾何学的解析と研削実験による加工精度の検証, 砥粒加工学会誌, 第 64 巻, 第 2 号, (2020) pp. 98–104.
- (3) 山崎遼, 太田稔, 江頭快, 山口桂司, Turn Grinding の砥石-工作物周速度比が研削抵抗と表面粗さに及ぼす影響, 砥粒加工学会誌. (掲載決定日:2019年12月2日)