

令和 4 年 6 月 24 日現在

機関番号：34406

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K04133

研究課題名(和文) ミルターン加工による機能性を持たせた表面性状の生成に関する研究

研究課題名(英文) Study on generation of functional surface property by turn-milling process

研究代表者

井原 之敏 (Ihara, Yukitoshi)

大阪工業大学・工学部・教授

研究者番号：90213199

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：複合加工機を使用した高能率の加工の一つに工作物と工具の両方を回転させる「ミルターン加工」がある。このミルターン加工においては、加工面に特有の模様が残るため、荒加工のみにしか適用できていなかった。本研究では表面模様生成の可能性を明らかにして、デザイン性を重視してあえて模様を付けることを目指してきた。まず、非円筒形の工作物に対して均一に見える模様を作成する方法を確立した。次にミルターン加工を一般的なものにするために一般のNC旋盤に付加工具主軸を取り付ける方法を試みた。さらにデザイン性の要点となる審美性についての検討を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

工作機械の製造技術や切削加工技術は日本が国際的にリードできる分野である。複合加工機は日本の得意とする機械であり、この機械を使用したミルターン加工の適用可能性を追求し、加工条件を明らかにしたことで導入の敷居が低くなった。また複合加工機のみならず一般のNC旋盤での可能性を追求したことで、ミルターン加工のすそ野が広がることが期待される。さらに本研究では表面模様生成の可能性を明らかにすることにより製品の応用分野に対して的確な情報を提供した。

研究成果の概要(英文)：One of the highly efficient machining using turning centers is "turn-mill machining" that rotates both the workpiece and the cutting tool. In this process, a pattern peculiar to the processed surface remains, so that it can be applied only to roughing. In this research, the possibility of surface pattern generation is clarified and to add a pattern with an emphasis on design is tried. First, a method for creating a pattern that looks uniform on a non-cylindrical workpiece is established. Next, in order to make turn-milling common, a method of attaching an additional tool spindle to a general NC lathe is tried. Furthermore, the aesthetics, which is the main point of design is examined.

研究分野：機械工作

キーワード：複合形旋盤 軸対称工作物 審美性 デザイン性 表面性状

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

切削加工を行う工作機械は、回転運動を用いない形削り盤などを別にすれば、工作物を回転させる旋盤と工具を回転させるフライス盤に大別できる。最近では両者の加工を一台で行える「複合加工機」が出現し、一台の機械でほとんどの種類の加工を行えるため人気がある。その反面、複合加工機は機械の構造が複雑なため操作も複雑で、能率最重視の大手の企業で専用的に使われることが多く、汎用性を重視している小規模の企業への導入が進んでいない。

複合加工機を使用した高能率の加工の一つに「ミルターン加工」がある。この加工方法は、旋盤なら工作物を回転させるのみ、フライス盤ならば工具を回転させるのみなのに対して、工作物と工具の両方を回転させることにより、工具の温度上昇を防げるので高能率の加工が実現できる。工具の温度上昇が問題となるタービン部品などではこの加工法が活用されている。ただし、このミルターン加工においては、加工面に特有の模様が残るため、荒加工のみにしか適用できず、最終的に部品の精度を整える仕上げ加工では従来どおり工具を固定して加工を行っている。

2. 研究の目的

(1) 加工工具の形状を含むミルターン加工の多くのパラメータが加工模様に関与する影響について解析し、一般的な性能を持った複合加工機で実現可能な模様(大きさを含む)を探る。

(2) 現在の工業製品に要求されている表面性状について調査し、ミルターン加工で実現可能かどうか、またどのような技術を追加すれば実現できるかについて研究する。

3. 研究の方法

(1) 加工工具の形状を含むミルターン加工の多くのパラメータが加工模様に関与する影響についての解析では、5軸マシニングセンタを用いて、研究開始時点では一定条件で成功していた、工作物の径が変化した場合についても同様に見えるような条件について、一般性を持たせた理論を展開し、実際に加工を行って実現可能かを検証する。

(2) 本来ミルターン加工は工具主軸の向きを変化させることができる工作機械で工作物・工具を同時に回転させて行う加工法であるが、刃物台に小さな回転工具を取り付けることのできる、ターニングセンタと呼ばれる機械は非常に多く使用されている。この機械の回転工具を使用してもミルターン加工は可能である。汎用 NC 旋盤は非常に一般的であるため、刃物台に付加的な回転工具を取り付け、ミルターン加工がどの程度可能かを検証する。

(3) ミルターン加工は金属材料を対象としているが、金属材料といっても種々のものがあるので、一般的によく使用されている材料について加工を行い、まずは模様の映り具合(鮮鋭性)や、光沢度といった美的パラメータを使用した評価を試みる。さらに、人間の視覚と触覚による直感的な評価についても試みる。



図1 完成したダンベル

4. 研究成果

(1) ミルターン加工の多くのパラメータが加工模様に関与する影響

ミルターン加工は軸対象部品において成立する加工方法であり3次元自由曲面への模様付けというのはすこし誇大表現であるが、それでも野球に使用するバットなどの模様付けには応用できると考えられる。令和元年度は、筋力トレーニングに使用するダンベルの滑り止めについて、さまざまな大きさのものでも模様付けできる技術について確立した。加工した工作物の一例を図1に示す。

機械は立て形5軸マシニングセンタを用い、テーブルの回転をもって工作物を回転させる旋削動作とした。一般的にミルターン加工を行う旋盤型複合加工機と比較すると、テーブルの回転によって得られる旋削動作が遅いため広範囲の加工条件について検証できていないが、理論的には成り立つと考えられる。

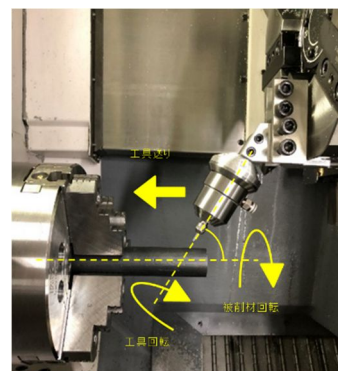


図2 汎用 NC 旋盤とエアースピンドルの取付

(2) 汎用 NC 旋盤とエアースピンドルを用いたミルターン加工

典型的な中型の汎用 NC 旋盤を使用してミルターン加工が可

能かどうかの検証を行った（図2）。汎用のNC旋盤は刃物台が小さく、出力の大きい付加スピンドルの取付に苦勞する。結果的に小型のエアースピンドルを取り付けることとなった。

また、小型のエアースピンドルはトルクが小さいため、切削力が加わると回転速度が一定しない。そのため生成される模様は拡大しても一様に見えるものとはならなかった。

そこで、一様な模様の生成は諦めて、エアースピンドルによるミルターン加工の有利な点を探した。その結果、ミルターン加工では、軸対称工作物の軸方向あらさと径方向あらさが切削パラメータを操作することで自由に設定できることを発見した。一般的な旋削加工では軸方向あらさは工具送りを変化させることで制御できるが、径方向あらさを制御することは難しい。ところがミルターン加工では工具径を変えることで比較的自由に両方向のあらさが制御できることがわかった。ただし、図3のような工具を寝かせて使うと、エアースピンドルの剛性が不足する懸念が生じる。

結果として、汎用旋盤でミルターン加工を行うには、付加するスピンドルについての回転速度の安定性、トルク性能、横方向剛性が求められることがわかった。

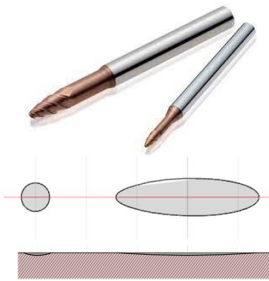


図3 パレル工具と切削痕

(3) 切削痕形状の制御による審美性

ミルターン加工による切削痕は、軸方向送り、径方向送り、工具回転数の3つを制御することにより矩形、六角形、菱形が現れる（図4）。これらについてまず光沢度を計測した。模様が規則的に生成されているので、光沢度の測定も様々な方向から測定した。その結果、模様が小さいほうが総じて光沢度が大きかった。これは切削痕をレーザ顕微鏡で観察した結果、平らな面が多いからだと思われる。

次に、日本酒のお猪口の底に描かれている「蛇の目」マークを加工面に反射させて、その移り具合を観察することで鮮鋭性について評価した。図5以下のグラフでは、以下の形状の切削痕のデータとなっている。A:正方形、B:正六角形（図4の左側に相当）、C、D:歪んだ六角形、E、G:長方形、F:菱形（図4の右側に相当）、H:大きな菱形。

測定結果を図5、図6に示すが、軸方向を光線の当たる方向と水平、垂直にあてる違いにより鮮鋭度が異なる結果となった。結果として、切削痕形状が四角形では鮮鋭度が低くなり、六角形であれば鮮鋭度が高くなることがわかった。また、切削痕の大きさは小さいほど、鮮鋭度が高くなる傾向にあることがわかった。切削痕が小さいものは、より平滑な面が創成されており、鮮鋭度が高くなる傾向にあると考えられる。

仕上げ面としての審美性は、光沢度や反射像の鮮鋭性だけでは十分に評価できていない可能性がある。そこで、機械加工を専門とする技師6人に、アンケート調査を行った（図7）。切削痕の大きさが同じであるA~Dについてみると、正方形のAの評価が低く、六角形で連なり方にずれのあるCの評価が高い結果となった。切削痕の大きさが異なるE~Hについてみると、切削痕の小さいEおよびFでは、B~Dとほぼ同等の評価が得られている。一方、切削痕の大きいGおよびHは、他に比べて低い評価となった。以上の結果は、切削痕の大きさが小さいほど評価が高くなること、そして大きさが同じであれば連なり方にずれがあるもAやGのように正方形や長方形の切削痕が連なっている試料については、一直線状に山や谷が創成されており、凹凸が視認しやすいと考えられる。また、送り方向には擦過痕が残りやすいため、同方向に切削痕の山部が創成されていると、切削痕が擦過痕の一部として捉えられ、審美性に劣ると判断された可能性がある。なお、アンケート評価では光沢度が高い切削痕EおよびFが、それらに比べて光沢度が低

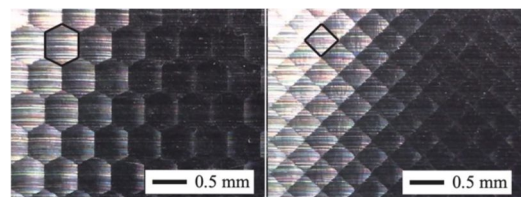


図4 審美性検査に使用した切削痕の例

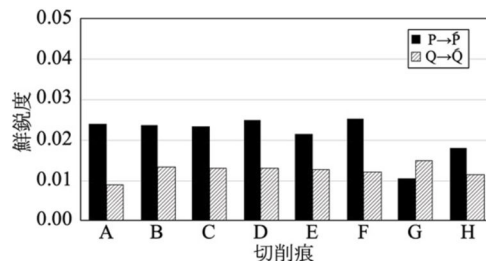


図5 鮮鋭度（軸方向水平）

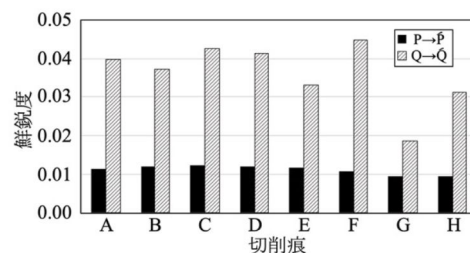


図6 鮮鋭度（軸方向垂直）

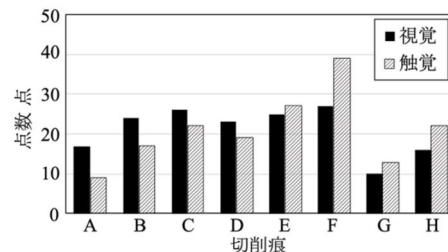


図7 人間の視覚と触覚

い切削痕 B~D と同程度の評価になっている。加工面の光沢と平滑さに必ずしも相関があるわけではないことを技師らは経験的に知っており、一定以上の光沢があれば高評価に値すると判断したと考えられる。

仕上げ面としての評価の参考として、視覚に基づくアンケートの後に、触覚、すなわち手触りだけに基づくアンケート調査も行った。集計結果は図 7 の棒グラフ右側に示すとおりである。触覚に基づくアンケートでも、視覚に基づいた評価とほぼ同様の結果が得られており、切削痕の大きさが小さく、連なり方にずれがあるものが高評価を得ることがわかった。ただし、視覚では B~E とほとんど変わらない評価であった F が、とくに高評価を得ている。触覚ではデザイン性を評価対象にすることが難しいことから、最も平滑な面である F が高評価になったと考えられる。

以上のように、ミルターン加工においては切削痕による凹凸が創成されることは避けられないが、切削痕の形状や連なり方を制御することにより、審美性だけでなく手触りをも良くすることが可能と考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 寒川哲夫, 下元一輝, 原宣宏 | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 ミルターン加工における切削痕形状の制御による審美性の向上 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 砥粒加工学会誌 | 6. 最初と最後の頁 - |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 兼田悠暉、高畑真、三好海斗、原、宣宏、寒川哲 |
| 2. 発表標題 ミルターン加工による仕上げ面創成に関する研究 |
| 3. 学会等名 日本機械学会関西学生会2020年度学生員卒業研究発表講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 高橋隆太、井原之敏 |
| 2. 発表標題 ミルターン加工による3次元自由曲面への模様づけ |
| 3. 学会等名 精密工学会 第27回学生会員卒業研究発表講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 柏井悠司、山口彪我、原宣宏 |
| 2. 発表標題 ミルターン加工による仕上げ面創成に関する研究 |
| 3. 学会等名 日本機械学会関西学生会2019年度学生員卒業研究発表講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 寒川哲夫、原 宣宏 |
| 2. 発表標題 ミルターン加工による仕上げ加工への適用可能性に関する基礎的検討 |
| 3. 学会等名 精密工学会2021年度秋季学術講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 高橋隆太、井原之敏 |
| 2. 発表標題 ミルターン加工による曲率が変化している箇所への加工模様の生成 |
| 3. 学会等名 精密工学会2021年度秋季学術講演会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Ryuta TAKAHASHI, Takaki NISHIDA and Yukitoshi IHARA |
| 2. 発表標題 Turn Mill Processing Using NC Lathe and Air Spindle |
| 3. 学会等名 The 10th International Conference in 21st Century (LEM21) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-----------|--|---------------------------------|----|
| 研究 分担者 | 原 宣宏 (Hara Yoshihiro) (80545327) | 摂南大学・理工学部・教授 (34428) | |

6. 研究組織（つづき）

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------------------|--|---------------------------------------|----|
| 研究 分 担 者 | 寒川 哲夫 (Samukawa Tetsuo) (80807735) | 摂南大学・理工学部・特任技師 (34428) | |

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|-------------------|--------------------------------|--|----|
| 研究 協 力 者 | 高橋 隆太 (Takahashi Ryuta) | 大阪工業大学・大学院 工学研究科・大学院生 (34406) | |

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
| | |