

補助事業番号 2024M-413
補助事業名 2024年度 高制御性と表面改質効果を併せ持つ革新的テクスチャ創成法の開発に関する補助事業
補助事業者名 福井大学 学術研究院 工学系部門 機械工学講座 精密加工研究室
岡田将人

1 研究の概要

工作機械上で、球頭形状の硬質工具を主軸により偏心運動させて、対象面と断続的に接触させながら、工具と対象面間に送り運動を付与することで、対象面上に微細な凹凸形状を創成する新たな表面テクスチャリングの技術開発を行った。3DCADにより簡易的に加工条件により創成されるディンプル形状が予測できること、ならびに有限要素法により加工時の表層応力状態や材料流動形態が再現できることを明らかにした。実験的に、各加工条件が工具1回転により得られるディンプル形状に及ぼす影響を明らかにするとともに、工具と対象面間に送り運動を付与した場合に、そのディンプル形状が重複しながら表面テクスチャを創成するプロセスを可視化した。加えて、開発技術により得られる表面テクスチャの残留応力状態を加工条件ごとに定量的に評価した。さらに、開発技術により得られた表面テクスチャを対象に摩擦摩耗試験を実施することで、加工条件によって摩擦摩耗特性が異なること、ならびに切削加工や研磨加工による仕上げ面よりも、しゅう動した相手材の摩耗が抑制されることを明らかにし、開発技術の有効性を評価した。

2 研究の目的と背景

バニシング加工とは、硬質工具を対象面上で転動もしくはしゅう動させることで、対象面を平滑化するとともに、表層材料の塑性変形に起因する加工硬化と圧縮残留応力により、耐摩耗性と疲労強度の向上が同時に期待できる表面仕上げ法である。これまでに補助事業者らは、バニシング加工に係る研究に取り組む中で、表面に意図的に微細な凹凸形状を創成することで、しゅう動特性や流動特性、濡れ性などに代表される表面特性を制御できる表面テクスチャリングをバニシング加工で実現することで、新たな表面テクスチャリング手法として確立できるとの着想に至った。そこで本研究では、球頭形状のバニシング工具を工作機械の主軸回転により偏心運動させ、工作機械テーブル上に設置した被加工材の対象面との間で断続的な接触状態を発現させることで、対象面上に微細な凹凸を創成する断続バニシング加工による表面テクスチャリングの技術開発を目的とした。本加工法により、工作機械の精度に倣った高い配列規則性を有する微細凹凸形状を、被加工材の形状創成のための工作機械上で実現できる。加えて、バニシング加工の特徴である表面改質効果も併せて期待できる。本研究では、3DCADや有限要素法を用いたテクスチャの予測手法、加工条件が表面形状や表層の機械的特性に及ぼす影響、本加工法により得られた表面テクスチャが摩擦摩耗特性に及ぼす影響を、他の加工法の場合と比較することで、本加工法の有効性を評価した。

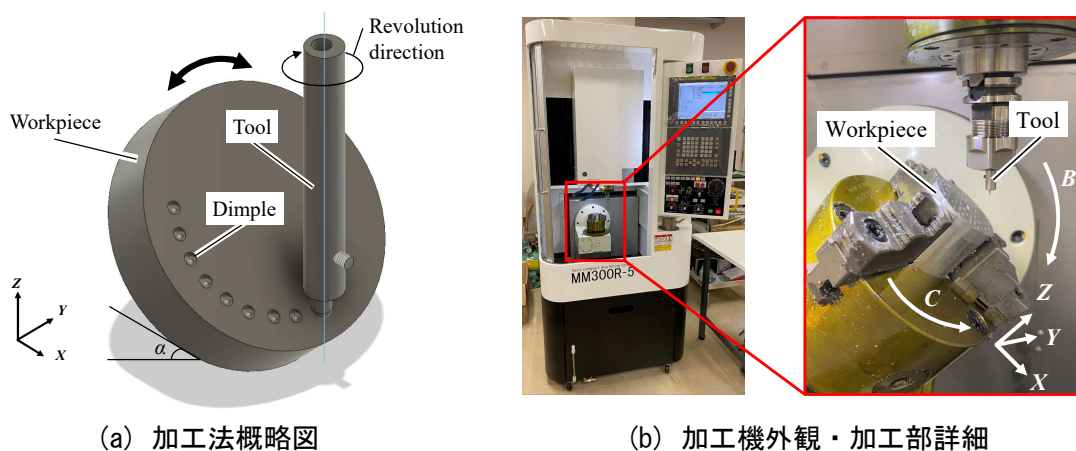
3 研究内容

高制御性と表面改質効果を併せ持つ革新的テクスチャ創成法の開発

https://mech.u-fukui.ac.jp/~okada/JKA_2024_report.pdf

(1) バニシング加工を応用した表面テクスチャリングの概要

図1に技術開発した表面テクスチャリングの加工法概略と、加工時の加工機外観ならびに加工部の拡大画像を示す。本加工法では、球頭形状の工具を、工具把持治具を介して5軸マシニングセンタの主軸に固定することで、5軸マシニングセンタの主軸の回転軸と工具の中心軸に偏心量を付与する。これにより、主軸の回転に倣って球頭工具は偏心量を半径とした公転運動する。併せて、5軸マシニングセンタテーブル上に固定された被加工材の対象面を、5軸マシニングセンタの主軸回転軸から傾斜させて、偏心運動する対象面と接触させることで、工具と対象面間には、主軸回転数に応じた断続的な接触状態が発現する。これにより、工具と対象面間の接触領域に応じたディンプル形状が創成される。この状態で、5軸マシニングセンタのC軸を回転させ、なおかつ工具をX-Z平面上に送ることで、ディンプル形状が重複しながら、対象面表層材料が周期的に流動することで、周期性を有する微細な表面凹凸が創成される。これらの表面凹凸は、表層の材料流動に基づき創成されており、その表層には加工硬化と圧縮残留応力の発現が期待されることとなる。



(a) 加工法概略図

(b) 加工機外観・加工部詳細

図1 技術開発した表面テクスチャリング

(2) 評価方法

有限要素解析には2次元有限要素解析ソフト (DEDORM V13.1, (株)ヤマナカゴーキン) を用いた。加工実験により得られた表面形状の測定には、図2に示す触針式粗さ計 (SURFCOM NEX SD-12, (株)東京精密) を用いた。残留応力の測定には、図3に示すX線残留応力測定装置 (μ -X360s, パルステック工業(株)) を用いた。加工実験により得られた表面テクスチャの表面機能は摩擦摩耗試験により評価した。摩擦摩耗試験には自作のボールオンディスク試験機を用いた。アルミニウム合金をディスク材に用い、これに評価対象とする表面テクスチャを施した。ボール材には高炭素クロム軸受鋼材を用いた。比較のために、切削・研磨加工による仕上げ面も同様に評価した。



図2 触針式粗さ計



図3 X線残留応力測定装置

(3) 実験結果

紙面の都合上、ここでは代表的な実験結果として、表面テクスチャの創成プロセス、ならびに末摩耗試験結果について紹介する。

(3-1) 表面テクスチャの創成プロセス

図4に半径方向に10回の送り（クロスフィード10パス目）を付与した時点における加工途中の表面テクスチャを示す。加えて、図5に図4の周方向と半径方向の断面曲線を示す。主な加工条件は、工具先端半径1.5 mm、偏心量0.15 mm、主軸回転軸に対する対象面の傾斜角 45° 、工具の対象面への押し込み量0.02 mmで、周方向と半径方向の加工ピッチは0.10 mmである。図4中の右端の加工痕が10パス目の加工痕であり、加工を途中停止した最終の接触痕が示されている。これより、本加工法の表面テクスチャは、大部分が次工程のパスの加工痕と重複しながら創成されていることがわかる。加えて、図5より、周方向、半径方向ともに設定された加工ピッチである0.10 mmにて周期性を有しており、本加工法により高い配列規則性を有した表面テクスチャが創成できることがわかった。なお、本加工法により得られた表面テクスチャ表層の残留応力を測定したところ、加工前で引張側に30 MPa程度であったのに対し、加工後には加工条件により圧縮側に70~170MPa程度で推移した。このことから、本加工法により圧縮の残留応力を同時に発現できた。

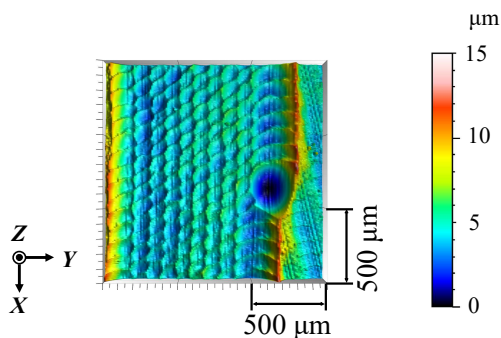


図4 10パス加工時点の表面テクスチャ

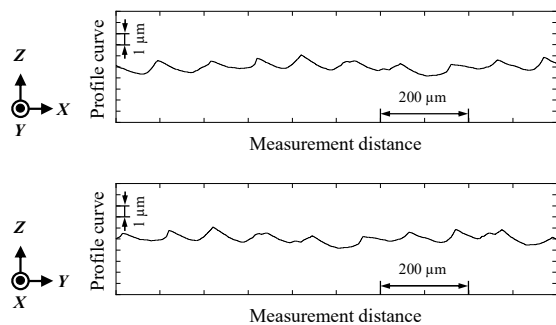


図5 周方向、半径方向の断面曲線

(3-2) 摩擦摩耗特性

図6に研磨面とテクスチャ面のディスク材を用いたボールオンディスク試験により得られた摩擦係数の推移と、しゅう動距離2 km後のボール材のしゅう動痕拡大画像を示す。ボールオンディスク試験は、試験荷重10 N、しゅう動速度0.24 m/sとし、しゅう動領域には不水溶性潤滑油を滴下した。両図より、研磨面の摩擦係数がテクスチャ面より低く推移しているものの、その振れ幅が大きい。加えて、ボール材のしゅう動痕の領域は明確にテクスチャ面の場合が低減された。このことから、本加工法の表面テクスチャには、相手材に対する攻撃性の低減効果が明確に認められた。

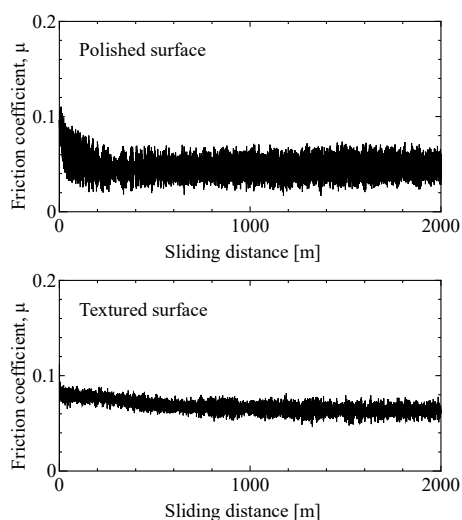


図6 摩擦係数の推移

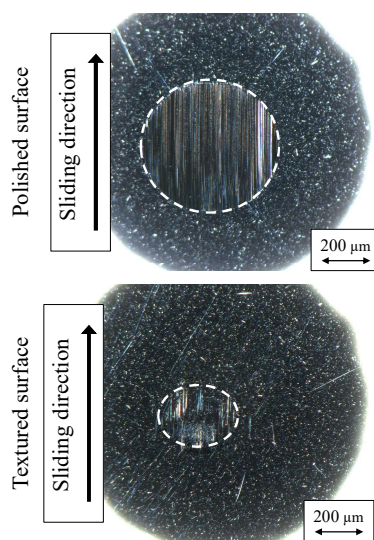


図7 ボール材のしゅう動痕

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

表面に凹凸を創成する表面テクスチャによる機能には、本研究で実施した摩擦摩耗特性の他に、流動特性や濡れ性など種々の機能が期待されている。加えて、これまでの補助事業者のバニシング加工に関する取り組みでは、バニシング加工面に耐食性の向上が認められた。今後、本加工法で得られた表面テクスチャの様々な機能について紐解くことで、新たな表面機能創成手法の選択肢として生産現場に提案していく。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

補助事業者らはこれまでに、硬質工具を対象面上で転動もしくはしゅう動させる様々なバニシング加工に係る研究に携わってきた。これまでバニシング加工は、表面改質とともに表面を平滑化させる技術として一般的に適用されてきた。本研究では、これを表面改質とともに表面に意図的に微細凹凸を創成する表面テクスチャリング技術としても活用できることを産業・学术界に提案できた。本事業で得られた成果に基づき、今後も継続的に産業・学术界に寄与できる研究成果の社会還元を務める。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- (1) Masato Okada, Hayato Nakagawa, Makoto Nikawa, Syunki Kitagawa, Surface texture mechanisms and surface properties of intermittent burnishing process, Proceedings of 20th International Conference on Precision Engineering (ICPE2024), OS20-22, 4 pages, 2024.
- (2) 岡田将人, 中川勇年, 北川俊希, 新川真人, 表面微細形状創成と表面改質を同時に実現する断続バニシング加工法の提案と基礎的検証, 日本機械学会北陸信越支部 2025年合同講演会 講演論文集, S0109, 4 pages, 2025.
- (3) Masato Okada, Hayato Nakagawa, Makoto Nikawa, Syunki Kitagawa., Texture creation mechanism and surface properties of proposed intermittent burnishing process utilizing plastic flow of surface material, Nanomanufacturing and metrology, Accepted.

7 補助事業に係る成果物

本事業により得られた成果の広範な社会還元を目的に、事業者所属の研究室ホームページ内に成果を取りまとめた概要を公開した。

URL : https://mech.u-fukui.ac.jp/~okada/JKA_2024_report.pdf



高制御性と表面改質効果を併せ持つ 革新的テクスチャ創成法の開発

公益財団法人 J K A
2024年度 機械振興補助事業（研究補助）
成果報告概要

福井大学 学術研究院 工学系部門
機械工学講座 精密加工研究室
教授 岡田 将人

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 福井大学 学術研究院 工学系部門

(フクイダイガク ガクジュツケンキュウイン コウガクケイブモン)

住 所： 〒910-8507 福井県福井市文京3丁目9-1

担 当 者： 教授 岡田将人 (オカダマサト)

担 当 部 署： 機械工学講座 (キカイコウガクコウザ)

E - m a i l： okada_m@u-fukui.ac.jp

U R L： <https://mech.u-fukui.ac.jp/~okada>