

NACS-Turning を用いた軸表面テクスチャリング

○磯崎 仁哉, 金沢大学 ◎高杉 敬吾, 浅川 直紀

要旨

摺動部品の摺動特性改善技術に用いられている表面テクスチャリング技術には生産性に課題が残っている。NACS-Turning (Non-Axisymmetric Curved Surfaces Turning) は非軸三次元曲面を旋削加工によって実現する新加工法であり、本研究では、これを軸物円筒面へのテクスチャリングに適用し、高効率なテクスチャ付与を試みた。また、付与したテクスチャの摺動特性評価の為、すべり軸受を用いた装置を開発し、テクスチャの有無による摺動特性の変化を確認した。

1. はじめに

近年、自動車産業など様々な分野で摺動部品の摺動特性の改善技術が求められている。その技術の一つに摺動面にディンプルなど微細な凹凸を加工することで摺動特性の改善を可能とする表面テクスチャリング技術¹⁾があるものの、生産性に課題が残っている。NACS-Turning (Non-Axisymmetric Curved Surfaces Turning)^{2,3)}は非軸対称三次元曲面を旋削加工によって実現する新加工法であり、軸構成は一般的なNC旋盤と同じ旋削主軸(C軸)及び並進2軸(X, Z軸)によって構成されるが、主軸回転と同期しながらX軸をリニアモータで超高速駆動することで、非軸対称工作物の旋削加工を可能としている。これにより、軸物円筒面への高効率なテクスチャ付与が期待できる。そこで本研究では、NACS-Turningを軸物円筒面へのテクスチャリングに適用し、形状評価及び性能評価システムの開発を行った。

2. システム概要

2.1 NACS-Turning NACS-Turningの概要と諸元を図1及び、表1に示す。主軸回転数を375 [min⁻¹]、制御点数を1周当たり720点としており、0.222 [ms]ごとに工具が次点へと高速駆動することが可能である。しかし、X軸スライドの重量の制約があり、加速度を10 [G]以内に収める必要がある。切削工具には旋削チップを用い、通常の旋盤と同様に回転中心と同じ高さに配置し、送りは-Z方向に一定の送り f [mm/rev] とする。よって加工経路は図2のような螺旋状となる。回転中心から隣接する加工点間のなす角 $\Delta\theta$ は一定となり、1周当たりの加工点数は 360° を $\Delta\theta$ で割った値となる。また、螺旋のピッチは加工時の回転あたりの送り f となる。

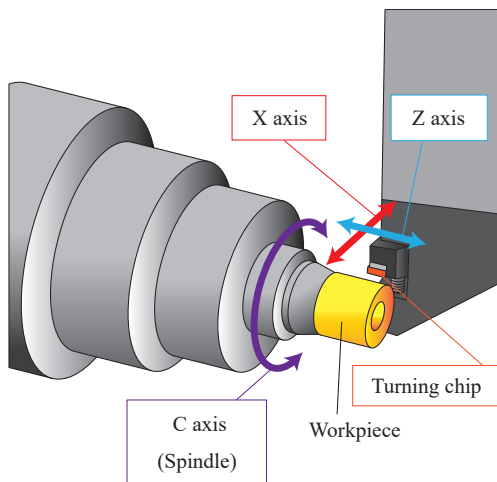


Fig.1 Schematic view of NACS-Turning

2.2 摺動特性評価装置 生成したテクスチャの摺動特性を評価するための実験装置の概要を図3(a)に示す。サーボモータ (Kollmorgen, AKM12E) と回転トルクメータ (ユニバルス (株), UTM II -10Nm), すべり軸受で構成される。また、摺動部分の概要を図3(b)に示す。ハウジングに固定したすべり軸受外輪に対して製作した試験片を内輪として回転させ、テクスチャの有無によるトルク変動を観察し、テクスチャの摺動特性評価とする。製作する試験片はテクスチャを付与するもの、しないもの共に実験装置に用いるすべり軸受が要求する軸表面粗さに合わせて加工を行う。理論表面粗さ h [μm] は旋削送り速度 f [mm/rev] と旋削チップノーズ半径 r_e [mm] から以下の式を用いて簡易的に求めることができる。

$$h = \frac{f^2}{8r_e} \times 1000 \quad (1)$$

本研究では理論表面粗さの目標値を1.6 [μm]とし、旋削チップノーズ半径0.8 [mm]、送り速度0.1 [mm/rev]にて加工を行った。

3. テクスチャの生成

3.1 実験概要 本研究ではテクスチャの形状として試験的にマイクロオーダーの波長、振幅となる次式に示す正弦波形状を円周に持つテクスチャ試験片を作成する。

$$\begin{pmatrix} x(\theta) \\ y(\theta) \end{pmatrix} = \{R + A \sin(n\theta)\} \begin{pmatrix} \cos \theta \\ \sin \theta \end{pmatrix} \quad (2)$$

図4のように半径 R のピッチ円に対して振幅 A の正弦波が n 周期分存在する円筒形状をテクスチャとする。生成したテクスチャの形状は2次元レーザ変位計 ((株) KEYENCE, LJ-V7020) を用いて測定する。試験片を一定速度で回転させながら、試験片の回転中心と並行にレーザを照射し、理論形状との比較を行う。テクスチャ試験片形状と生成条件を表2に示す。

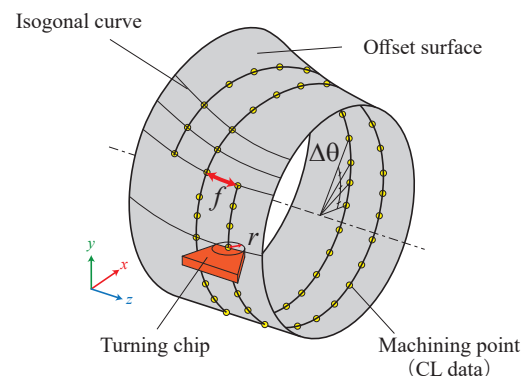


Fig.2 Schematic view of CL data generation

振幅及び円周方向の波数はそれぞれ 10 [μm], 60 波とし, 加工時に工具の最大加速度が NACS-Turning の許容加速度である 10 [G] を超えないようにした. 切削時の加速度 a [m/s^2] は工具の X 軸移動量 X [m] と NC の制御周期 0.222 [ms] より, 離散的に 2 階微分することによって求められる.

Table 1 Specification of NACS-Turning

Rotation speed [min^{-1}]	375
Number of control point per rotation	720
Numerical control frequency [ms]	0.222
Allowable acceleration [G]	10

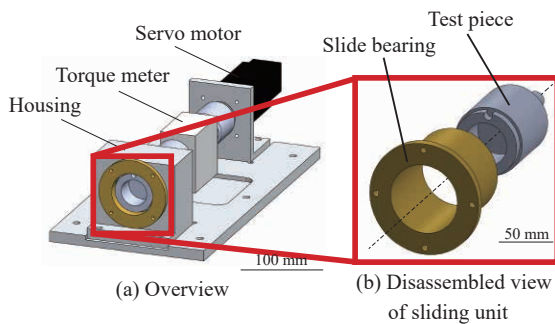


Fig. 3 Experimental setup for measurement of sliding resistor

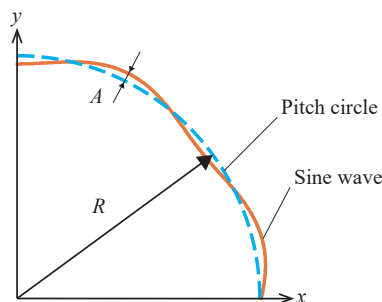
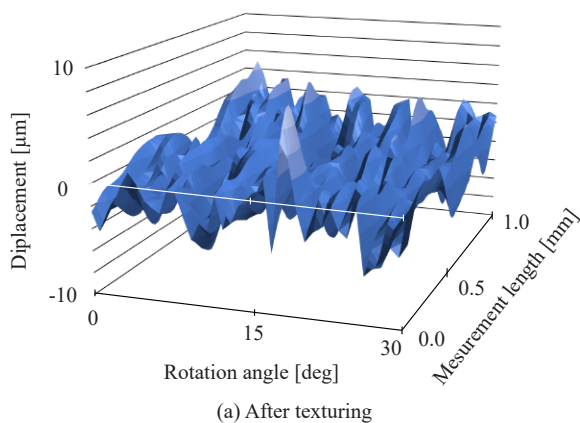


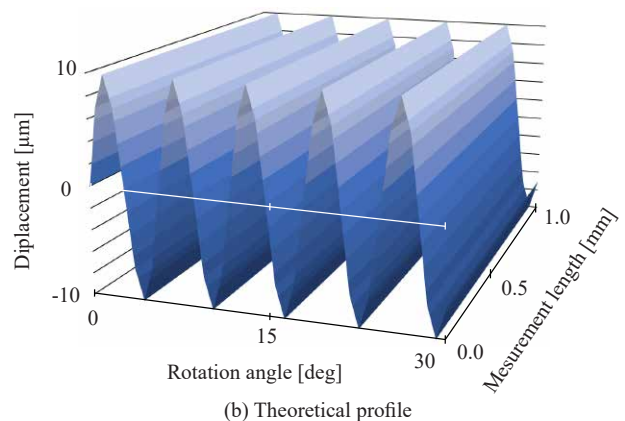
Fig. 4 Profile of texturing

Table 2 Conditions for texturing

Pitch circle diameter [mm]	39.98
Sine wave amplitude [μm]	10
Number of sine wave per rotation	60
Maximum acceleration [G]	5.54
Surface roughness [μm]	1.6
Test piece length in Z axis direction [mm]	40



(a) After texturing



(b) Theoretical profile

Fig.5 Comparison between textured profile and theoretical profile

4. 実験結果及び考察

生成したテクスチャ形状をレーザ変位計で測定した一部を図 5 (a) に示す. 縦軸に変位量 [μm], 横軸に試験片の回転角度 [deg], 奥行き方向の軸に測定幅 [mm] をとり, 3 次元的にテクスチャ形状を表した. 得られた形状は理論形状 (図 5 (b)) と大きく違い, 明確なテクスチャは確認できなかった. テクスチャ形状を NACS-Turning の許容加速度内に収めたものの, 指令値に対して, 工具先端が追従しきれていなかったと考えられる. そのため, 図 5 (a) のような不規則な加工痕が残る形状となった. すなわち, 工具先端の現在位置から次点への移動の際に必要な加速度の立ち上げが完了し, 移動を完了させる時間よりも次点の指令が入るまでの間隔である 0.222 [ms] の方が短く, 次点への移動処理が上書きされたためと考えられる.

5. おわりに

本研究では NACS-Turning を用いた軸物円筒面へのテクスチャ生成実験及び, 形状評価を行い, 以下の結論を得た.

- (1) すべり軸受を用いた摺動特性評価システムの開発を行った.
- (2) テクスチャ形状を制約条件内に収めたものの, 明確なテクスチャを確認することはできなかった.

また今後の展望を以下に示す.

- (1) 1 周当たりの波数を大きく減らし, 加工を C 軸の変位を与えながら複数回加工を行うことで, 連続加工では許容加速度を大きく超えるような形状であっても, 最終的に同様の形状を加工することが期待できる.
- (2) 円周方向及び Z 方向に正弦波形状を持つような形状を加工した後に, 表面を微少旋削することで凹部分のみが残り, よりディンプル形状に近い形となり, 摺動特性の大きな改善が期待できる.

参考文献

- 1) Nobuyuki Moronuki : Functional Texture Design and Texturing Processes, Int. J. of Automation Technology, Vol.10, No.1 (2016) p.4
- 2) K. Takasugi et al. : Development of CAM system for 3D surface machining with CNC lathe, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol.8, No.4 (2014) p.1
- 3) 森本善隆 他: 旋削加工による三次元曲面の創成 (ロータリ工具を用いた旋削加工法の提案), 日本機械学会論文集, 79 巻, 804 号 (2013 - 8) p.276