

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 11 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25820018

研究課題名(和文)超音波援用加工による高速・微細機能性インターフェース創成

研究課題名(英文)Fast fabrication of fine functional surface with ultrasonic-assisted machining process

研究代表者

嶋田 慶太(Shimada, Keita)

東北大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：30633383

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：マイクロメートル・サブマイクロメートルオーダの微細形状を創成するために超音波振動援用加工を適用した。開発した超音波振動援用装置では工具の軸方向とたわみ方向に援用でき、工具の回転運動と工作物送りを重畳することにより運動軌跡を工作物に転写して微細構造を創成する。軸方向振動を援用した場合、回転運動と振動により正弦波状の切削軌跡をとるために、切れ刃に対して2枚のすくい面を持つ形状がバリを抑制して良好な構造体を創成することに有効であることを明らかとした。またたわみ振動による切削では切れ刃の干渉により構造体は破壊される場合があり、また微細構造創成の機構がインデントーション作用であることを明らかとした。

研究成果の概要(英文)：In this project, development of a fabrication method of micro- and submicrometer-sized fine structures was conducted by using ultrasonic-vibration assisted machining. The developed ultrasonic-assisted device can employ both the longitudinal and the bending vibration modes, and microstructures were created by controlling the vibration, the tool rotation and the workpiece feed motion. When using the longitudinal vibration mode, sinusoidal patterns were carved on the workpiece surface, and it was found that a two-rake-face tool is better to fabricate structures without edge burrs. When using the bending vibration mode, it was figured out that the mechanism of fabricating microstructures is mainly plastic deformation by the tool indentation. Deterioration of structures may occur by the interference of the flank face.

研究分野：生産工学・加工学

キーワード：超音波加工 固定砥粒 表面性状

1. 研究開始当初の背景

近年、材料表に対して微細な構造を創成するテクスチャリング技術の研究が盛んに進められている。いかなる構造がどのような機能を有するか、もしくは期待する効果を発現させるためにはどのような構造を創成すればよいかという機能と構造の関係については現在研究されている段階であり必ずしも明確化されておらず、加工法に関しても研究段階である[1]。主な加工技術としてはフォトリソグラフィなどの半導体加工と類似の製造工程や成形型を用いた成型工程、母型を用いた電鍍工程などがあり、またアスペクト比の大きな LIGA (X 線を用いたフォトリソグラフィ・電解メッキ形成) プロセスや微細化への対応が可能なナノインプリンティングプロセスなども今後期待される技術である[1]。また MEMS 技術以外では、レーザ共振器の開発のために切削加工により 270 nm ピッチ 6000 本の溝加工や、切削性向上のためのフェムト秒レーザによる超硬合金切削工具表面へのテクスチャリング加工、単結晶ダイヤモンド工具による超精密切削加工によるフレネルミラーの創成などが報告されている[2]-[4]。微細表面テクスチャにより(1)抵抗、誘電率などの電磁気特性、(2)摩擦、耐摩耗性、密度などの機械的特性、(3)反射、透過、回折、屈折などの光学的特性、(4)耐熱性、熱膨張、高温強度などの熱的特性、(5)耐食性、拡散、触媒作用などの化学的特性、(6)濡れ性、吸着、粘着・付着などの材料特性、(7)微生物の培養、滅菌などのバイオ特性などに対して機能を付加することが可能になる[1]。このように表面微細構造の創成は旧来の完全平面を目指すような加工とは一線を画すイノベーションを有した研究として期待されている。

申請者はこれまでの研究において、小径軸付き砥石に対して超音波振動を援用し、振動させた砥石をさらに軸方向に移動させた研削加工 (以降これを振動重畳超音波研削と呼ぶ) によりサブマイクロメートルオーダの微細構造創成が可能であることを示した。そこで超音波援用加工によりサブマイクロオーダ微細構造を均一に創成することを最終的な目標として研究を発展させることを試みている。

- [1] 榊田 正美: 微細表面テクスチャによる表面機能の形成, 砥粒加工学会誌, 50, 4 (2006) 173-176.
- [2] 小幡 勤, 鍋澤 浩文, 川堰 宣隆, 杉森 博: 富山県工業技術センターにおける“ものづくり技術”への取り組み, 砥粒加工学会誌, 52, 12 (2008) 698-701.
- [3] 宮口 孝司: 新潟県工業技術総合研究所における超微細化王技術への取り組み, 砥粒加工学会誌, 52, 12 (2008) 702-705.
- [4] 新井 亮一, 山岸 光: 長野県工業技術総

合センター精密・電子技術部門が取り組む加工技術支援, 砥粒加工学会誌, 52, 12 (2008) 706-709.

2. 研究の目的

振動重畳超音波研削により創成される微細構造の制御が主要となる目的である。微細構造ピッチは軸方向送り速度を変えるにより変化することを確認しているが、均一に創成するための条件を選定し、また超音波振動の援用方向を軸方向もしくはたわみ方向とすることによっても創成面が異なることから、単粒砥粒を創成し、単粒切れ刃の3次元プロファイルを測定した状態で切削実験を行うことにより砥粒形状と加工面の関係を明らかにする。加えて計算によって砥粒の切削軌跡解析と切削シミュレーションを行い、材料除去過程について明らかにする。

創成した微細構造が実際に有して機能性について検証する。

3. 研究の方法

超音波援用加工の可能な主軸を用いて加工を行う。この超音波主軸は軸の形状と材質により振動状態を制御する仕組みとなっている。振動は軸方向モード・たわみ方向モードおよび両モードを重畳したハイブリッドモードの3モードを用いることができ、加工機の並進とスピンドルの回転を重畳して微細構造を創成する (図 1 参照)。微細構造の創成に対しては単石ダイヤモンド電着砥石

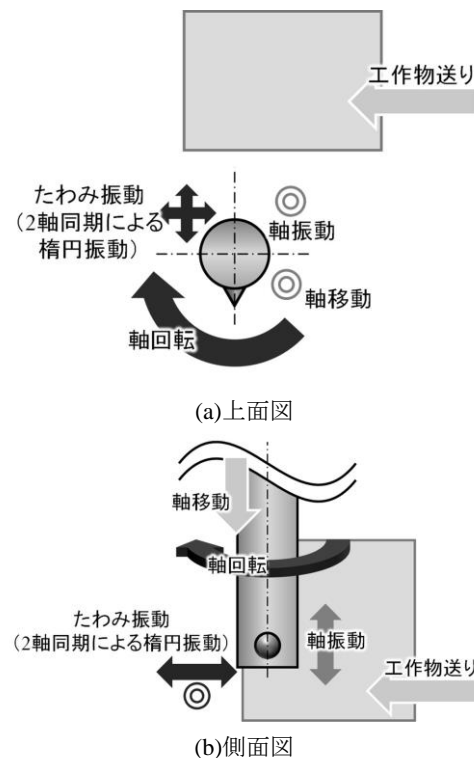


図 1 実験方法概要

を複数個用意してそのプロファイルを測定しておき、実験を行うことで、刃物と加工後のパスの形状の関係性、およびバリの残存について検証することとした（図2参照）。

また超音波振動援用加工による微細構造複合パターンの創成を検証するため、楕円振動切削用スピンドルにビッカース圧子形状工具を取り付けて切削実験を行った。

実験で加工した試料は走査型電子顕微鏡、レーザ式顕微鏡等により形状を測定し、また濡れ性、摩擦特性については摩擦試験機によって検証した。

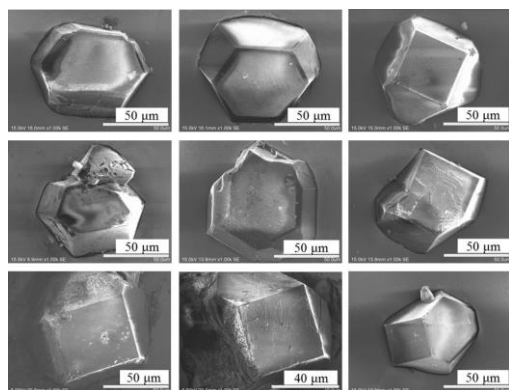


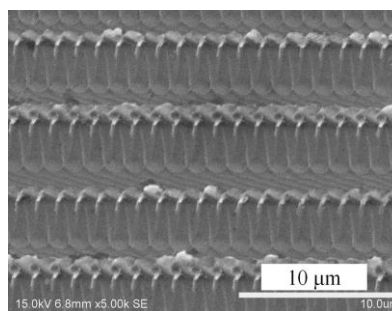
図2 使用した単石電着砥石

4. 研究成果

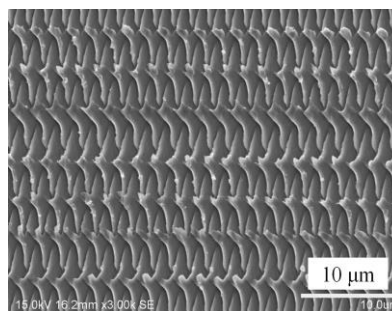
本手法で微細構造を創成する場合には工具回転軸に対して平行な方向への送りを与えることが必要であり、斜め方向に送るスラントフィードか回転軸方向のみの送り運動のいずれでも微細構造の創成を確認した。回転軸方向の構造のピッチは当然ながら送りに依存しており、一方、構造体に付着するバリは工具の形状に依存することが明らかとなった。

軸方向振動を援用した場合の加工においては、図2に示す砥粒では左下のような、砥石が回転円に対して斜め方向に2枚の切れ刃を有している場合にバリの付着を抑制した形状が創成できることを明らかにした。そこでダイヤモンド工具を作成し、加工した結果、図3に示すようなバリの低減した輪郭の明瞭な微細構造を創成することが可能となった。

たわみ振動を援用した場合には、いわゆる楕円振動切削と同様の切削軌跡となるが、本手法においてはインデントーション作用により微細構造が形成されるため、構造の先端部分破壊されること（図4参照）、工具の干渉によりアスペクト比の大きな構造の創成が難しいことが明らかになった。また、たわみ振動の検証としてダイヤモンドバイトを用いた楕円振動切削法による複合微細構造の創成を行い、マイクロメートルオーダーの微細溝内にサブマイクロメートルオーダーの溝を創成できることを確認している（図5参照）。



(a) 単石砥石による加工



(b) ダイヤモンド工具による加工

図3 微細形状（軸振動による創成）

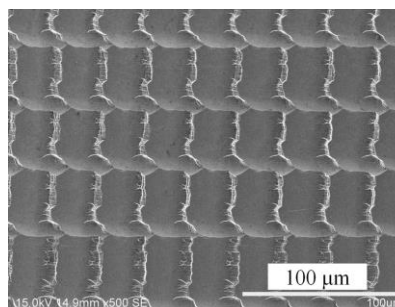


図4 微細形状（たわみ振動による創成）

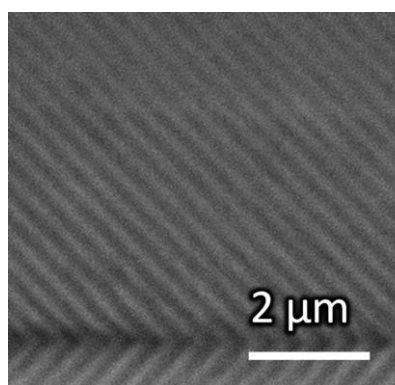


図5 10 μm ピッチの溝内に創成した微細構造

この加工においては切れ刃の逃げ面が工作物と接触することで構造が残存する仕組みで微細構造が創成されている。

またこの手法が振動と回転運動の複合的な加工であることから、派生的な研究として、同じく振動を援用する機械加工の超仕上げにおける微細構造についても検証を行って

いる。本研究では回転と振動（揺動）によるクロスハッチとしての微細構造を創成しているが、クロスハッチの角度による摩擦係数の低減効果について明らかにした。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕（計 2 件）

① Shaolin Xu, Keita Shimada, Masayoshi Mizutani, Tsunemoto Kuriyagawa, Fabrication of hybrid micro/nano-textured surfaces using rotary ultrasonic machining with one-point diamond tool, International Journal of Machine Tools and Manufacture, (Peer reviewed), 86 (2014) 12-17. doi:10.1016/j.ijmachtools.2014.06.005

② Satoshi Kobayashi, Keita Shimada, Chikashi Murakoshi, Kazunori Koike, Masauki Takahashi, Toru Tachibana, and Tsunemoto Kuriyagawa, Development of an Ultrasonically-Assisted Electrolytic Grinding System, International Journal of Automation Technology (Peer reviewed), 7, 6 (2013) 654-662, URL: <https://www.fujipress.jp/finder/xslt.php?mode=present&inputfile=IJATE000700060006.xml>.

〔学会発表〕（計 4 件）

① Keita Shimada, Masayoshi Mizutani, Tsunemoto Kuriyagawa, Effect of cross-hatching angles of superfinishing on friction coefficient, 38th MATADOR Conference, Mar. 29, 2015, National Formosa University, Huwei, Taiwan (Invited).

② Shaolin Xu, Keita Shimada, Masayoshi Mizutani, Tsunemoto Kuriyagawa, Development of Rotary Ultrasonic Texturing Method Using One-point Diamond tools for Micro/nano-texturing, 38th MATADOR Conference, Mar. 29, 2015, National Formosa University, Huwei, Taiwan (Invited).

③ 嶋田慶太, 水谷正義, 厨川常元, 超音波振動による複合微細構造創成の高精度化, 2014年度砥粒加工学会学術講演会講演論文集, pp.232-235, 2014年11月29日, 青森県, 弘前大学.

④ Shaolin XU, Keita SHIMADA, Masayoshi MIZUTANI and Tsunemoto KURIYAGAWA, Surface Texturing and Wettability Evaluation of Zirconia Ceramics, The 7th Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century (LEM21), Nov. 7th, 2013, Taikansou, Matsushima, Miyagi.

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

○取得状況（計 0 件）

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

嶋田 慶太 (SHIMADA, Keita)

東北大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：30633383