

2103 超音波ミリングによる精密金型加工に関する研究(第3報)

- 3次元形状金型加工 -

○金井 秀生(industria), 神 雅彦, 星野 真之(日本工業大学)
高橋 一彰(industria), 村川 正夫(日本工業大学)

Precision Mold Machining by Ultrasonic-Vibration Milling

— Machining of 3-D Shape Mold —

Hidenari Kanai, Kazuaki TAKAHASHI

industria 2700 Miyadera, Iruma, Saitama

Masahiko Jin, Masayuki Hoshino, Masao Murakawa

Nippon Institute of Technology 4-1 Gakuendai, Miyashiro, Saitama

Key Words: milling, ultrasonic vibration, small-diameter and high-aspect-ratio ball-nosed end mill, milling accuracy

1. まえがき

プラスチック成形加工, プレス成形加工あるいは半導体やディスプレイ等電子機器製造分野などにおいては, 金型材料やセラミックス材料の微細・精密加工が要求されている. 具体的には, 小径高アスペクト比のマイクロエンドミルを用いた射出成形やコイニング金型の切削加工, 各種の小径高アスペクト比シリンダやノズルなどの内面研削加工, あるいは半導体やディスプレイ等の電子部品製造のためのマスキング部品の微細穴あけなどがあげられる.

しかしながら, それらの小径高アスペクト比工具による切削加工においては, 切削抵抗による工具のたわみ, びびりなどが問題となり, 加工精度の不良, 加工能率が不十分, あるいは工具寿命が不十分であるといった問題点が発生する.

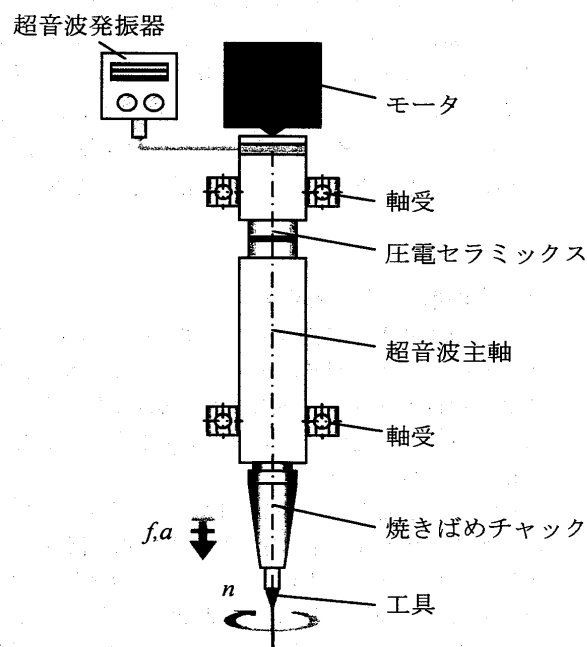
その問題点に対し, 本研究では, 工具軸方向に超音波振動を援用してのミリングあるいは研削加工法を検討している. すなわち, 小径高アスペクト比工具に周波数が数十 kHz の超音波振動を付与することにより, 切削を超音波の周期で寸断することができ, 隈部による不感振動切削機構¹⁾を発現することができ, 工具のたわみやびびりを抑制できると考えられる. 著者らの従来研究^{2), 3)}においても, 同効果は認められており, 工作物を振動させた切削テストを実施してきた結果, ミリング加工における工具のたわみを抑制できることが明らかになっている.

以上の研究背景および検討結果に基づき, 本報告では, 検討している超音波振動切削法を実用的に実現すべく, 超音波振動を付与できる切削用スピンドルを開発する研究を行ない, 3次元形状を有する金型形状の加工を行い, 超音波ミリング法の効果および試作した超音波スピンドルの性能に関して評価した結果に関して報告する.

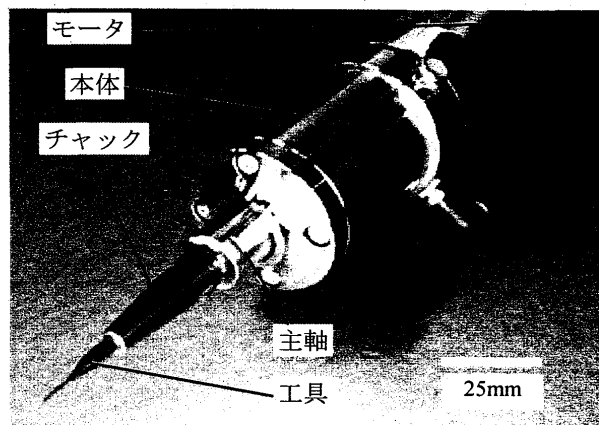
2. 小型超音波スピンドルの開発

試作した小型超音波スピンドルの内部の概略構造および概観を図1に, および主な仕様を表1に示す. 超音波主軸は圧電セラミックス(チタン酸ジルコン酸鉛)を内蔵しており, 全体が周波数約40kHzで共振する構造となっている. 主軸は玉軸受けによりスピンドル筐体に支持されており, 後部のモータにより回転する. 工具は焼きばめチャックにより取り付

ける. 超音波振動およびモータの駆動は, それぞれ外部の専用電源より電力を供給し駆動する.



(a) 超音波スピンドルの内部構造



(b) 試作超音波スピンドルの外観

図1 試作した小型超音波スピンドル

表 1 試作小型超音波スピンドルの主仕様

振動方向	縦振動（工具軸方向）
超音波周波数 f [kHz]	40
振幅 a [μm]	0-2
回転速度 n [min^{-1}]	2,000-8,000
駆動電源	AC100V50/60

スピンドルの最大径は 60mm、長さは 280mm および重量は約 1.8kg である。従来品に比べコンパクトなサイズとなっている。

3. 実験装置および方法

試作した超音波スピンドルを小型のマシニングセンタに取り付けて微細金型加工に関する切削実験を行なった。実験装置の外観を図 2 に示す。工作機械には、X～Z の直進 3 軸がリニアモータで駆動するタイプの小型マシニングセンタを用いた。同機の NC 制御装置には、CNC 制御ユニット TOSNUC-888（東芝機械製）を用いている。

主な加工条件は実験結果図（図 3）の下部に示した。工具には、主に TiAlN コーテッド超硬ボールエンドミル（ボール半径 0.25R、刃長 8mm、アスペクト比 16、日進工具（株）製）を用いた。工作物にはプレハードン鋼（NAK55, 40HRC）を用いた。加工形状は、単純な溝および 3 次元形状加工とした。

4. 実験結果および考察

4.1 溝各実験 予備実験として、往復パスによる直線溝を加工した結果では、超音波ミリングにより工具のたわみに起因する溝の蛇行が効果的に抑制され、実験に用いた高アスペクト比（ $L/d=16$ ）の小径ボールエンドミルを用いた場合でも、高い加工精度の溝が加工できることがわかった。

4.2 3 次元形状加工実験 同様の工具を用いて、球面を有する 3 次元形状の加工を実施した実験結果を図 3 に示す。図（a）は加工形状であり、四角ポケットおよび球面を含んだ形状とした。実験した結果、同図（b）および（c）に示すように、超音波振動を付与しない慣用ミリングにおいては、ところどころに削り残しや工具の変動によると思われる不均一な加工面がしばしば観察された。場所により表面粗さのばらつきがあり、最も粗い箇所では、最大高さ粗さが $0.9\mu\text{m}R_z$ となっていた。それに対し、超音波振動を付与した場合は、均一な切削軌跡が見られ、削り残しは低減した。表面粗さも比較的均一であり、ほぼ一様に $0.5\mu\text{m}R_z$ となっていた。

5. まとめ

本研究では、超音波を利用した金型加工を実用的に実現するために、小型超音波スピンドルを試作した。そして、小径高アスペクト比エンドミルを用いたいくつかの金型加工実験を行なった結果、試作超音波スピンドルを利用した超音波ミリングにより良好な加工結果が得られることを明らかにした。

参考文献

- 1) 隈部淳一郎：振動切削—基礎と応用—, (1979), P70,

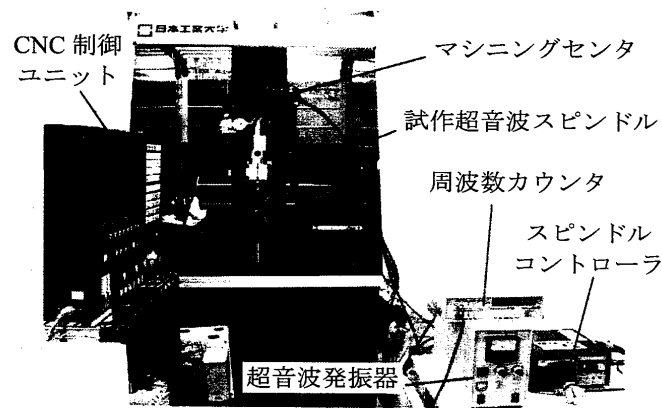
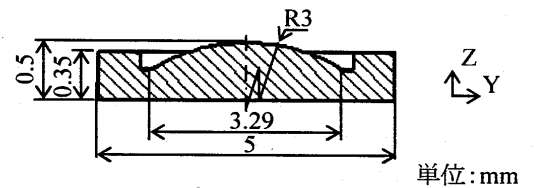
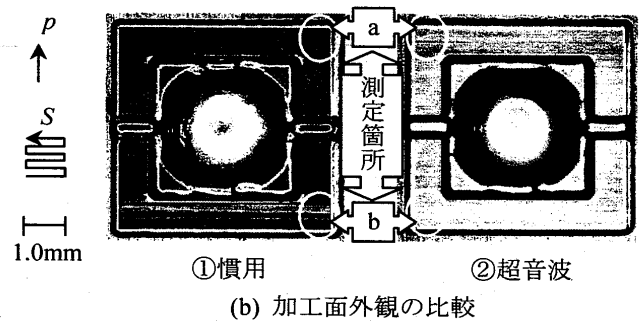


図 2 実験装置外観

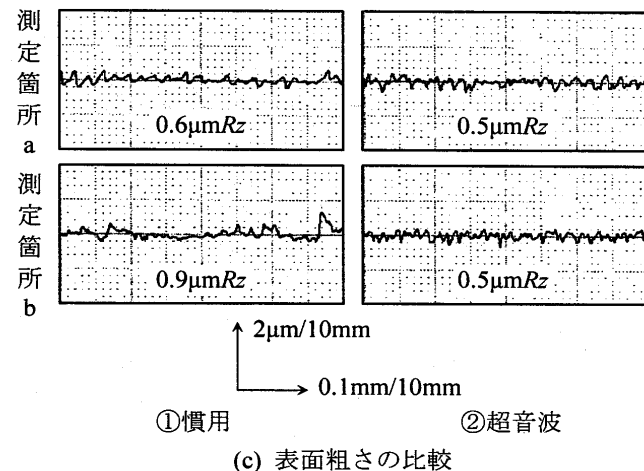


(a) 加工形状（断面図）

単位:mm



(b) 加工面外観の比較



(c) 表面粗さの比較

図 3 3 次元形状加工結果

(NAK55, $n=8,000\text{min}^{-1}$, $R=0.25\text{mm}$, $l=8\text{mm}$, $L/D=16$, $v=12.6\text{m/min}$, $F=80\text{mm/min}$, $dz=0.005\text{mm}$, $dp=0.01\text{mm}$)

実教出版。

- 2) 神雅彦, 金井秀生, 村川正夫：超音波ミリングによる精密金型加工に関する研究, 砥粒加工学会誌, 49, 2 (2005) 90-94.
- 3) 神雅彦, 星野真之, 村川正夫：超音波ミリングによる精密金型加工に関する研究, 2006 精密工学会秋季学術講演論集, 409-410.