

超精密鏡面切削加工技術の確立*

堀田 昌宏** , 若槻 正明** , 和合 健*** ,
飯村 崇**

鉄系材料を単結晶ダイヤモンド工具で鏡面切削するため、単結晶ダイヤモンド工具刃先に超音波振動を付加する加工システムを試作し、基礎的な評価実験を行った。その結果、無酸素銅を切削した場合は振動加工が適正に行われていることが確認できた。また、HRC40程度の鉄系材料も同様に切削できる可能性があるが、チッピングも生じるので、加工条件を更に検討する必要があることがわかった。

キーワード：鉄系材料，超精密加工，超音波振動

Study on Ultraprecision Mirror Cutting Technique

HOTTA Masahiro, WAKATUKI Masaaki, WAGO Takeshi,
and IIMURA Takashi

We made new work attachment which gives ultrasonic vibration to tool edge of mono-crystalline diamond in order to mirror-cut the iron materials using mono-crystalline diamond, and we performed basic evaluation experiment. As a result, we confirmed that oxygen-free copper was vibration-cutted without faults. And we found that iron materials (40HRC) can be cut and it is necessary to examine the work conditions further, because chipping occurred in the process.

key words : Materials of iron system, ultraprecision cutting, ultrasonic vibration

1 緒 言

近年、超精密加工に対する要求は増加しており、特にダイヤモンド切削に代表される超精密切削加工は、今後の超精密加工技術には欠かせないものとして、多くの研究が行われている。しかし、ダイヤモンド切削に代表される超精密切削加工の適用は、銅及びアルミニウムといった軟質金属や一部のプラスチック材料等に限定されており、金型やゲージ類、しゅう動部品など、需要の高い鉄系材料には行われていない。これは通常の切削方式で鉄系材料の超精密ダイヤモンド切削を行うと、切削熱の影響により工具摩耗が早く進行して、切削が不可能になる¹⁾ためである。そのため、鉄系材料の超精密切削を行う加工法として、ダイヤモンド工具刃先を超音波域の振動数で切削方向に規則的に振動させ、断続的に切削する超音波振動切削法を検討した。この方法は工具刃先が連続接触することがない一種の断続切削であるために、切削熱の低減が期待でき²⁾、工具摩耗が抑えられて、鉄系材料でも安定して切削できるのではないかと考えられる。

本報では、ダイヤモンド工具刃先に超音波振動を付加する加工システム（以下、加工システム）を試作し、その加工システムの評価と、切削条件変更における加工面性状に関する基礎的な評価実験を行ったので、その経過について報告する。

2 実験方法

図1に試作した加工システムを示す。超音波振動子には、圧電型ボルト締めランジュバン型振動子を採用し、工具はホーンの先端にダブルロックナット方式により固定した。但し、工具が重くなると振動系の影響が大きくなることを考慮し、軽くて振動用ホーンへの取付けの容易なスローアウェイチップを使用している。振動周波数は27kHzのものを使用した。また、事前に非接触変位計（岩崎通信機社製、ST-3711）を用いて、取付け後の工具の振幅を測定したところ、平均振幅aは約18.7 μm、振動周波数mは23.2kHzであった。

実験に使用した加工機は空気静圧支持主軸と油静圧案内テーブルを装備したCNC2軸超精密鏡面加工機（プ

* 次世代金型製造プロセスに関する研究開発（ベンチャー企業育成型地域コンソーシアム研究開発）

** 電子機械部

*** 電子機械部（現在 企画情報部）

レステック, Nanoform350)で,その切り込み台上に試作した加工システムを固定した。工具は,表1に示すように単結晶ダイヤモンドチップと単結晶ダイヤモンドバイト(単結晶ダイヤモンドをバイトシャンクに溶着させたもの)の2種類を使用し,被削材は加工システムの評価用として軟質で加工負荷が小さい無酸素銅と鉄系材料であるプレハードン鋼を用いた。評価用測定機器として加工面の粗さ測定には,非接触の光学式表面粗さ測定機(Zygo社, NewView100)を用いた。

なお,鏡面切削の場合,研磨面と同程度の仕上げ面粗さ(縦方向の最大高さ R_y)と切削面特有の周期的な微小凸凹による虹面抑制が必要であるが,加工面の評価はこの虹面によって大きく左右されるため,虹面の定量評価に横方向のパラメータ S, S_m (S, S_m :測定長さ内で算出される局部山頂及び凸凹の平均間隔で定義されるパラメータ)も用いて行った。

なお,本報では,工具刃先を超音波域の振動数で切削方向に規則的に振動させ,断続的に切削する超音波振動切削法を振動切削と,超音波振動を刃先に与えないで切削する方法を通常切削と呼び,本文中に用いる記号は下記のとおりである。

- s : 主軸回転数 (rpm)
- f : 送り (mm / min)
- R_y : 縦方向の最大高さ (μm)

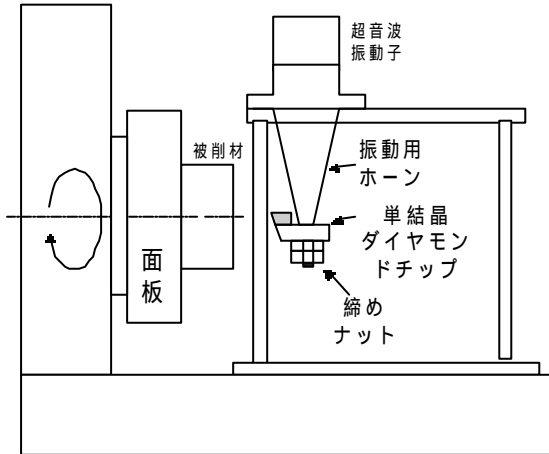


図1 加工システム概要図

表1 使用工具

工具材種	ノーズ半径(mm)	すくい角(°)	逃げ角(°)
単結晶ダイヤモンドチップ	0.8	0	11
単結晶ダイヤモンドバイト	1.0	0	5
多結晶ダイヤモンド	0.8	0	5

表2 切削条件

S	200,500,1000,1500 rpm
f	2.5, 5.0, 7.5 mm/min
被削材	無酸素銅
工具	単結晶ダイヤモンドチップ
切削液	非水切削油

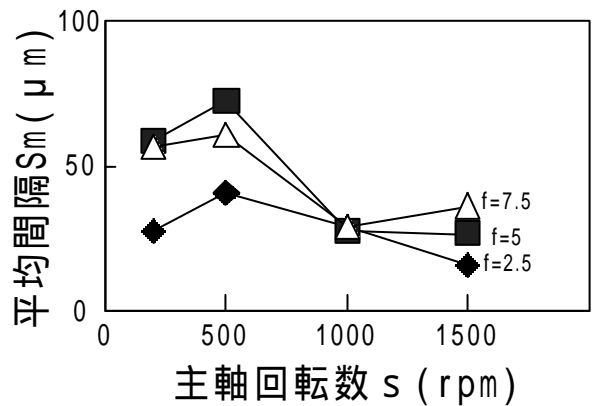
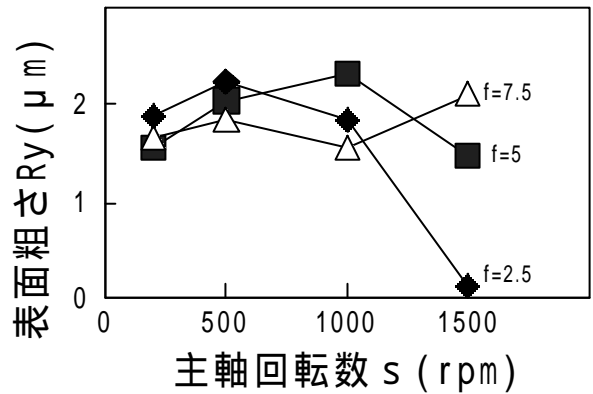
- S : 横方向の局部山頂の平均間隔 (μm)
- S_m : 横方向の凸凹の平均間隔 (μm)

3 実験結果及び考察

3-1 システムの評価実験

無酸素銅を用いて表2の切削条件で振動切削し,被削材の加工面性状(粗さ,すじの有無の確認)がどのように変化するかを検証した。

図2はその場合の主軸回転数に対する R_y 及び S_m の結果である。主軸回転数が1000rpm以内では送りが変わっても R_y に変化がないのに対し,1500rpmの場合では送りが小さいと R_y も小さくなっている。つまり, R_y は切削速度が高速になるにつれて送りに対して影響されることを示唆しており, R_y が切削速度ではなく1回転当たりの送りに影響されると推測できる。また,横方向の粗さ S に関しては,送り及び回転数を変化させても変化はない。 S_m は,送りが大きいほど大きく,回転数が大きいと小さくなる結果となった。このことから,主軸回転数が速い(切削速度が高速である)場合でも,1回転当たりの送りが小さければ S_m が小さくなることを示しており,振動切削速度(=2 a m)が通常切削速度より速ければ,より効果があらわれると考える。また,これらの値は無酸素銅を単結晶ダイヤモンドを用いて通常切削した場合よりも大きい値となっている。これは,



無酸素銅,単結晶ダイヤモンドチップ

図2 表2の条件で振動切削した場合の加工面粗さ

振動しながら切削しているため、切り込みが一定しないこと、バニシ効果によって面が良好となる状態が期待できないこと等が原因として考えられる。

図3に振動切削における加工面の顕微鏡写真を示す。どちらの加工面も顕微鏡で観察すると、送り $5 \mu\text{m}/\text{rev}$ に相当する間隔で送りマークが見られるだけでなく、工具の超音波振動によって生じた振動マークが切削方向に垂直な細かい線となって現れている。また、主軸回転数が遅い場合ほど、加工面には振動マークが細かく現れていることがわかる。このように送り量が一定である場合には、主軸回転数が遅い方がより規則正しい断続切削が行われたと考える。また、円周部と中心部を比べてみると周辺部の方が加工痕がはっきりしているように見える。これは中心部に向かっていく程切削速度が遅くなるので、より規則正しく断続切削が行われたためではないかと思われる。



a) $s=1500\text{rpm}, f=7.5\text{mm}/\text{min} (=5 \mu\text{m}/\text{rev})$



b) $s=500\text{rpm}, f=2.5\text{mm}/\text{min} (=5 \mu\text{m}/\text{rev})$

単結晶ダイヤモンドチップ，無酸素銅

図3 振動切削における加工面の顕微鏡写真 (×50)

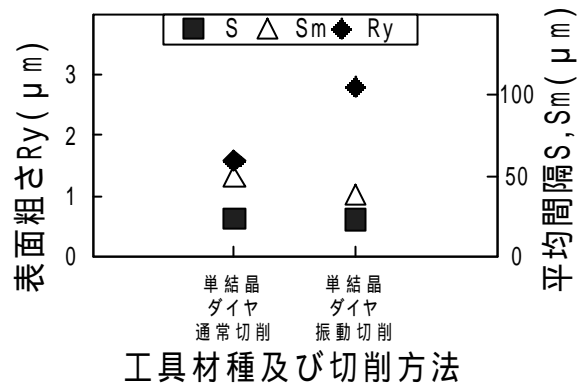
以上のことから、超音波振動を付加した加工システムの動作が確認できたこと、振動切削における切削条件(主軸回転数、送り)において、 R_y は切削速度よりも1回

転当たりの送り量に影響されることが推察できることがわかった。

3-2 プレハードン鋼による加工実験

通常切削と振動切削について比較検討するため、被削材を鉄系材料(プレハードン鋼)に選定し、切削液噴霧供給下で切削条件を $s=1500\text{rpm}, f=5\text{mm}/\text{min}$ に設定し、加工面性状(粗さ、すじの有無の確認)への影響を確認した。

図4に切削方法変更による加工面の粗さを示す。切削方法を変更した場合、 R_y は単結晶ダイヤモンド、単結晶ダイヤモンドチップの順で大きいが、 S 及び S_m には差が無い。今回設定した加工条件(低速送り及び微小切り込み)では、良好な加工面は得ることはできなかった。また、加工終了後に工具刃先を工具顕微鏡で観察したところ、どちらの工具にもチップングが生じているのが観察された。



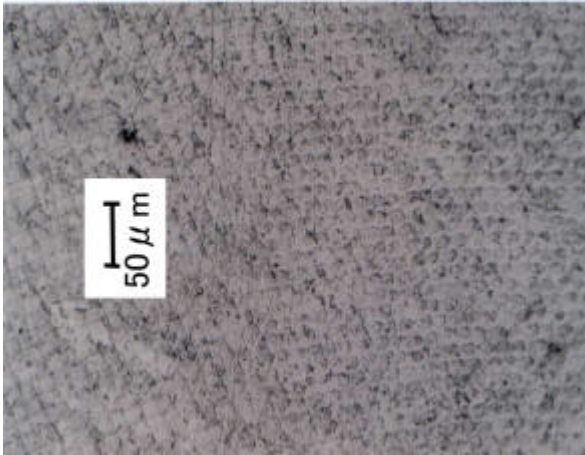
$s=1500\text{rpm}, f=5\text{mm}/\text{min}, \text{NAK55}$

工具：単結晶ダイヤモンドチップ，
単結晶ダイヤモンドバイト

図4 切削方法変更による加工面粗さ

図5は単結晶ダイヤモンドを用いて切削した場合の振動切削と通常切削における加工面の顕微鏡写真を示す。振動切削面には、工具の超音波振動によって生じた振動マークが規則的に分布し、この振動マークを横線として、送り $5 \mu\text{m}/\text{rev}$ を縦線とするあみだ模様仕上面を呈し、斜めから見ると、美しい七色の虹面模様が見える。この加工面は、無酸素銅を振動切削した場合の加工面と同じ様相を呈しているため、正常な切削が行われたものと考えられる。また、通常切削面は斜めから見ると振動切削面と同様に虹面模様が見える。しかし、その面は送り量に相当する間隔で送りマークが確認できるが、むしろ等が観察され、正常な切削ができなかったものと考えられる。以上、振動切削と通常切削を比較検討した結果、粗さの数値から判断すると良好な切削がどちらも行われなかった。しかし、加工面を比較すると、振動切削の方が均一に切削

されており、振動切削の方が加工システムの改良、最適加工条件によって均一に粗さを軽減できる可能性が残されていると考える。



a) 振動切削



b) 通常切削

$s=1500\text{rpm}$, $f=5\text{mm/min}$, NAK55

工具：単結晶ダイヤモンドチップ，
単結晶ダイヤモンドバイト

図5 振動切削と通常切削における
加工面の顕微鏡写真(×20)

4 結 言

鉄系材料を単結晶ダイヤモンド工具で鏡面切削することを目的として、単結晶ダイヤモンド工具刃先に超音波振動を付加する加工システムを試作し、基礎的な評価実験を行ったところ、以下のことがわかった。

- ・無酸素銅を切削した場合は振動加工が適正に行われていることを確認した。
- ・HRC40程度の鉄系材料も同様に切削できる可能性があることがわかった。

5 今後の課題

試作した加工システムを用いて今回切削実験を行ったが、加工システムの改良、切削条件の再検討等まだまだ検討することがあることがわかった。今後はそれらの点について、順次対応していきたいと考える。

本研究はベンチャー企業育成型地域コンソーシアム研究開発「次世代金型製造プロセスに関する研究開発」事業の一環で実施したものである。

本研究を実施するに当たり、助言をいただきました岩手大学工学部水野雅裕助教授に感謝いたします。

文 献

- 1) 森脇俊道他：超精密生産技術体系第2巻実用技術，フジテクノシステム，901(1994)
- 2) 隅部淳一郎：精密加工振動切削 - 基礎と応用 - ，実教出版，49(1979)