

振動切削加工技術の基礎的研究*

堀田 昌宏**、池 浩之***、勝負澤 善行***

高川 貫仁***、鈴木 一孝****、飯村 崇*****

新たに開発される耐摩耗性に優れた新素材を加工するため、工具刃先に超音波振動を付加する振動切削方法を用いて、鋼系高硬度材料及び超硬を被削材とした基礎的な加工実験を行った。その結果、今回設定した切削条件において、切削速度を遅くすると正常な加工は期待できないこと、削り誤差は振動切削を用いた場合小さくなることがわかった。

キーワード：振動切削、超音波振動

Basic Study of the Vibration Cutting

HOTTA Masahiro, IKE Hiroyuki, SHOUBUZAWA Yoshiyuki ,

TAKAGAWA Takahito, SUZUKI Kazunori and IIMURA Takashi

We performed basic work experiment, using the way of giving ultrasonic vibration tool edge, in order to work a new material that have the anti-wearing. As a result, we knew that cutting speed is slow, normal working is impossible, and when vibration cutting is used, cutting error is loss, in cutting conditions set this time.

key words : vibration cutting, ultrasonic vibration

1 緒 言

新たに開発される耐摩耗性に優れた新素材を加工するために、新規加工法として、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（以下、振動切削）を提案した。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力の低減が期待でき¹⁾、刃先が欠損することなく安定して加工できるのではないかと考えられる。本報では、振動切削が通常加工法と比べてどの位優位性があるか不明であるため、実際に切削条件を変更しながら振動切削を実施し、その加工特性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

無断変速機能を有する汎用旋盤（昌運製作所製 ST-5）を用いて、予備実験と本実験の2種類を実施した。予備実験として、被削材を鋼系高硬度材料に選定し、片持ちによる外周切削を実施した。仕上げ加工に振動切削を適用するため加工条件を検討した結果、加工しるをそれぞれ：片側 0.05mm, 0.1mm に、送り

は指定粗さ（ R_y が 1.6 ~ 6.3 μm 内にあること）を満足するため 0.1mm/rev に設定した。そして、触針式表面粗さ測定機（Form Talysulf S5, テーラーホブソン製）を用いて加工面の表面粗さを、削り始めの寸法と削り終わり時の寸法をマイクロメータで測定し、その誤差を削り誤差とした。工具として、通常切削ではセラミック工具及び cBN 工具を、振動切削では超硬工具を使用した。加工条件を表 1 に示す。

本実験として、被削材を超硬に選定し、端面切削を実施した。工具は cBN 工具を用い、切削液として、鏡面加工機用及び研削加工機用の粘性の低い非水溶性切削油 難削材加工用のタッピングオイルを使用した。切削速度、送り速度は通常加工の予備実験で実施した結果を基に決定した。表 2 に加工条件を示す。なお、予備実験、本実験では、工具刃先に超音波振動を付加する装置として市販の超音波振動切削装置（富士工業（株）製、FUM1）を用いた。この装置は振動周波数 27kHz、最大片振幅 12.5 μm の性能を有し、切削工具として振動用ホーンへの取り付けが容易な市販のスローアウェイチップを用いている。写真 1 に超音波

* 素材再利用による新材料製造技術開発事業
** 電子機械部（現在 電子機械技術部）
*** 金属材料部（現在 材料技術部）
**** 化学部（現在 材料技術部）
***** 企画情報部

振動切削装置を示す。なお、本文中に用いる記号は下記のとおりである。

- v : 切削速度 (m/min)
- f : 送り (mm/rev)
- a : 切り込み(mm)
- Ry : 縦方向の最大粗さ (μm)



写真1 超音波振動切削装置

表1 加工条件1

被削材	SKH51(HRC63)
速度	10,20,30,40m/min
送り	0.1mm/rev
切り込み	0.025mm/回, 0.05mm/回, 2回仕上
切削液	無し
工具	通常切削 cBN, セラミックス 振動切削 超硬(JISK10種相当) (いずれもノーズR0.8mm)

表2 加工条件2

被削材	G70(超硬)
速度	5,10,20m/min
送り	0.05,0.1mm/rev
切り込み	0.010mm/回, 2回仕上
切削液	無し, 鏡面加工用油, 研削加工用油, タッピングオイル
工具	振動切削 cBN(ノーズR0.4mm)

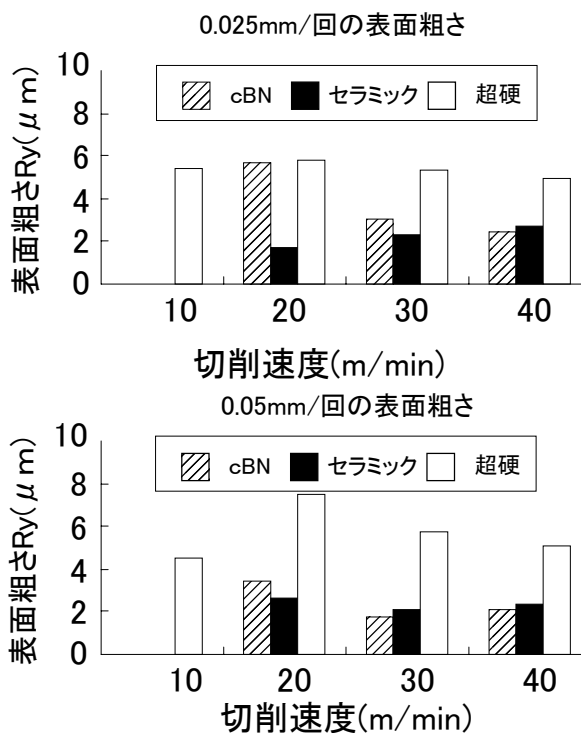
3 実験結果及び考察

3-1 予備実験

表1の条件で実施したところ、表面粗さRyは図1に示す結果となった。振動切削において、切り込み及び切削速度を変更しても、大きな変化はない。また、Ryが平均約6μmと通常切削した場合よりも大きい数値を示しているが、指定粗さ(, Ryが1.6~6.3μm内にあること)内にあるため、要求条件を満たしている。また、cBN工具及びセラミック工具を用いて通常切削した場合、切り込み及び切削速度を

更しても、Ryは振動切削よりも小さい値(2~4μm)となっている。セラミック工具を用いた場合は、切り込みを変更したにもかかわらず、切削速度が大きくなるについて、値が小さくなっていることがわかる。粗さが小さくなった原因の一つとして、焼入鋼を切削した際、背分力が大きくなるため²⁾、その結果パニシ効果により粗さが小さくなっていると思われる。ところで、加工面を観察すると工具刃先が規則正しく転写されているように見えるが、よく観察すると所々組織がむしられた様な痕が見られる。この現象は、切削速度及び切り込みを変更しても同様の現象が観察されることから、工具が加工面を切っている状態ではなくある程度面をこすっているのではないかと推測される。cBN工具を用いた場合は、切り込みや切削速度を変更しても、さほど差は見られない。

写真2に (v =20m/min , f =0.1mm/rev , a



f = 0.1mm/rev 乾式切削 被削材: SKH51 (HRC63)

図1 切削速度を変化させた場合の表面粗さ

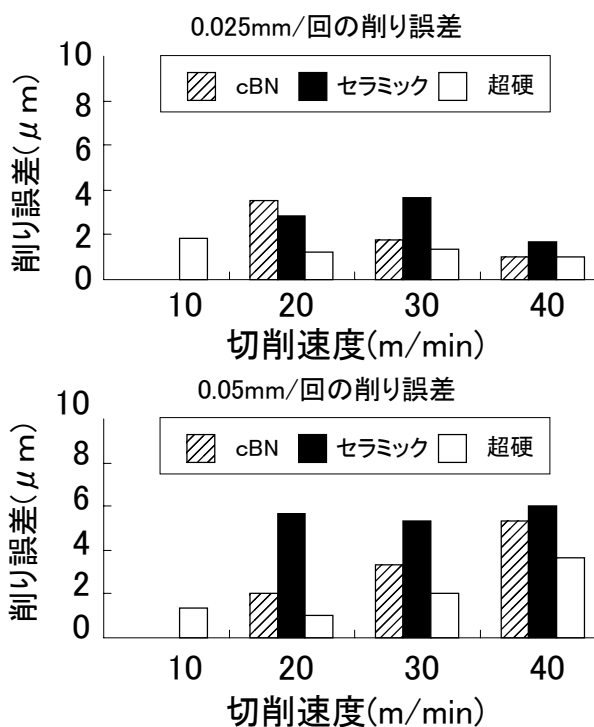
=0.025mm/回, 超硬工具)の加工条件で振動切削した際の加工面を示す。加工面には、工具刃先の送りマークとは別に工具の超音波振動によって生じた振動マークが切削方向と垂直に細かな線となって現れている。また、切削速度が速い程、振動マークが大きくなっていることがわかる。振動装置の仕様からすると、理論的には約12μm/回当たりの振動(v=20m/minの場合)をしており、加工面写真から振動ピッチを判断するとほぼ同値に見えるので、振動切削が正常に行われていたと判断できる。しかし、切削速度が遅くなると、振動マークがあまり確認できないので、振動切削が正

常に行われていないと思われる。以上のことから、振動切削を行う場合、切削速度を遅くすると正常な加工ができないと考える。



$v = 20\text{m/min}$ $f = 0.1\text{mm/rev}$ $a = 0.025\text{mm/回}$,
被削材: SKH51 (HRC63), 超硬工具, 振動切削
写真2 振動切削時の加工面写真

通常切削と振動切削時との削り誤差(削り始めの寸法と削り終わり時との寸法差)を図2に示す。振動切削において、 $a = 0.025\text{mm/回}$ の場合、切削速度が変化しても削り誤差はほぼ $1\mu\text{m}$ とほぼ差がないが、 $a = 0.05\text{mm/回}$ の場合、切削速度が大きくなるにつれて値が大きくなっている。通常切削の場合、振動切削



$f = 0.1\text{mm/rev}$ 乾式切削 被削材: SKH51 (HRC63)
図2 切削速度を変化させた場合の削り誤差

と比べて全体的に値が大きくなっているセラミック工具は切削速度が変化しても値に差が見られないが、cBN 工具は切削速度が大きくなるにつれて、値が大きくなっている。また、 $a = 0.025\text{mm/回}$ の場合、切削

速度が大きくなるとセラミック工具及びcBN工具では誤差が小さくなっているが、原因が特定できないので、今後の検討課題である。

また、加工中の状態を見ると、通常切削の場合、切削熱発生のため、切り屑が若干ではあるが変色し、加工後に加工表面に触ると熱くなっていることがわかる。しかし、振動切削の場合、切り屑が通常切削の場合よりも変色せず、加工表面も熱くなっていない状態であるため、あまり切削熱が発生していないのではないかと推測される。

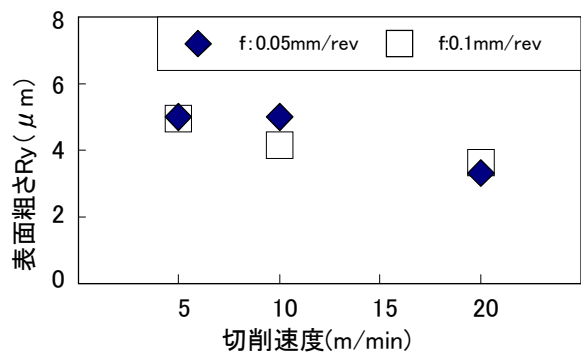
理由として、振動切削は断続切削であるため、加工負荷が被削材にかかった時に離れるので、被削材の変形が起きず、また切削熱が発生しても刃先が冷却されるので、被削材も熱くならないと思われる。

以上、設定した加工条件において、鋼系高硬度材料を切削した場合、表面粗さにおいて振動切削は粗さが指定公差内とはいえ通常切削に比べて大きくなっているため、通常切削に優位性があられ、削り誤差では逆に振動切削に優位性があられた。理由として、振動切削は断続切削であるため、加工負荷が被削材にかかった時に離れるので切削力も小さくなり³⁾、被削材の変形が起きにくいと思われる。

振動切削において、削り誤差が小さいと言うことは、通常切削のように指定寸法に仕上げるのに何回も加工することがないことを示しているため、加工時間もトータルとして短縮される方向にある。よって、この加工法は径が小さくかつ高硬度である材料を片持ち支持で加工しなければならない場合には、特に有効であると思われる。

3-2 本実験

表2の条件で実施したところ、表面粗さ R_y は図4に示す結果となった。振動切削において、切削速度が



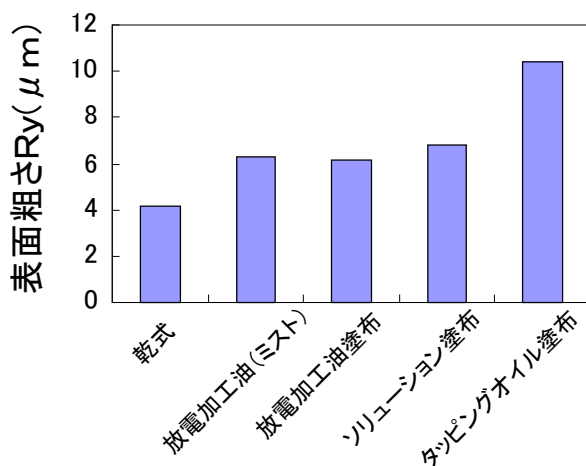
$a = 0.01\text{mm/回}$, 乾式, cBN工具 ($R0.4\text{mm}$)

図3 加工条件変更による表面粗さ

大きくなるにつれて、面粗さが小さくなっている。しかし、送りを変化させた場合、さほど面粗さに変化が見られない。よって、仕上げ面粗さを小さくするためには、送りを変更するよりも切削速度を変更した方がより効果が期待できるとと思われる。

また、切削速度及び送りを固定した状態で切り込みを変更したところ、表面粗さは $a=0.01\text{mm}$ / 回に設定した場合が1番小さかったが、それ程面粗さにさほど変化が見られない。一般的にあまり切り込みを小さくすると面粗さがかえって悪くなる傾向があるが、今回設定した加工条件では切り込み量が小さいため、多少変化させても面粗さに変化が現れることが少ないと思われる。

図4に湿式切削（数種類の切削液をかけて切削）と乾式切削（何もかけないで切削）状態での表面粗さを示す。結果から言うと、乾式切削の方が湿式切削した場合よりも粗さが小さくなっている。また、湿式切削状態で比較した場合、粘性が高い切削液（鏡面加工油 < 研削加工油 < タッピングオイル）を使用した方が面粗さが大きくなっている。一般的に湿式切削した場合、面粗さが小さくなっており、今回の結果は全く逆となっている。原因として考えられるのが、振動切削は切削力が小さい状態で加工しているため、切削液をかけることにより刃先が滑って切り込む場合と切り込まない場合があるのではないかと、振動によって発生した熱によって液が局所的に蒸発し、そのために深く切り込



$v = 10\text{m/min}$, $f = 0.1\text{mm/rev}$, $a = 0.01\text{mm/回}$,
c B N 工具 (R0.4mm)

図4 切削液毎の表面粗さ

んでしまったのではないかと考えることができるが現時点では特定できないため、今後の検討課題である。

今回、使用した工具刃先の丸み半径は 0.4mm と小さいので、それよりも大きい物を使用することにより、面粗さが小さくなると考えられるので、今後工具刃先の丸み半径を変更する等の検討を加えた実験を行う必要があると思われる。

4 結 言

今回新たに開発される耐摩耗性に優れた新素材材料を加工するための予備試験として、鋼系高硬度材料及び超硬を振動切削した場合の加工特性に関する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。

- 1) 鋼系高硬度材料を切削した場合、表面粗さにおいて、振動切削は切削速度及び切り込みを変更してもさほど値に差が見られない
 - 2) 鋼系高硬度材料を切削した場合、削り誤差において、振動切削は通常切削よりも値は小さく、かつ切削速度及び切り込みを変更してもさほど値に差が見られない
 - 3) 超硬を振動切削した場合、乾式切削で切削速度をある程度早めに設定した方が表面粗さを小さくする可能性がある。
- 今後、工具刃先の丸み半径を変更する等の検討を加えた実験を行うことによって振動切削加工の加工特性を更に把握すると共に、新たに開発される耐摩耗性に優れた新素材材料の加工について検討を行っていきたいと考える。

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，910(1994)
- 2) 狩野勝吉：難削材の切削加工技術，工業調査会，213(1991)
- 3) 隈部淳一郎：振動切削，実教出版，21(1979)