

難削新素材に対する振動切削加工技術の適用*

堀田 昌宏**、池 浩之***、勝負澤 善行****

高川 貫仁***、齋藤 裕之**

新たに開発された耐摩耗性に優れる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の適用について検討した。その結果、切削速度をある程度早めに、送り速度を遅く設定した方が面粗さを向上させる可能性があることがわかった。

キーワード：振動切削、超音波振動

Application of the Vibration Cutting for New Materials that Are Difficult-to-Machine

HOTTA Masahiro, IKE Hiroyuki, SHOUBUZAWA Yoshiyuki,

TAKAGAWA Takahito, and HIROYUKI Saito

We examined application by using the vibration cutting way of giving ultrasonic vibration to tool edge, in order to work a new material that have the anti-wearing. As a result, we knew that speeding up the cutting speed a little and slowing feed rate can make the surface better roughness.

key words : vibration cutting, ultrasonic vibration

1 緒 言

新たに鋳ぐるみ手法で開発された耐摩耗性に優れる新素材材料を加工するために、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）の適用を試みた。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、新素材を被削材として振動切削に関する加工条件を検討し、併せて試作加工を行ったので、その経過について報告する。

2 実験方法

無断变速機能を有する汎用旋盤（昌運製作所（株）製ST-5）を用い、新素材を被削材として、端面切削を実施した。工具は超硬工具及びcBN工具を用い、切削液として、水溶性切削液（30倍希釈）を使用した。そし

て、加工機に取り付けた状態で触針式表面粗さ測定機（サーフテスト、ミットヨ（株）製）を用いて加工面の表面粗さを測定した。

なお、実験では、工具刃先に超音波振動を付加する装



図1 超音波振動切削装置

* 素材再利用による新材料製造技術開発事業
** 電子機械技術部
*** 材料技術部
**** 材料技術部（現 いわて産業振興センター）

置として、図1に示す市販の超音波振動切削装置(FUM1、富士工業(株)製)を用いた。この装置は振動周波数27kHz、最大片振幅12.5 μ m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ウェイチップを用いている。表1、表2に切削条件を示す。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: 送り速度(mm/rev)
a: 切り込み(mm)
Ry: 縦方向の最大高さ(μ m)

表1 切削条件(1)

被削材	鋳ぐるみ材(素地:高Cr白鋳鉄、Ni50%vol添加、含有サーメット粒子0.15mm以下)
切削速度 V	10,20,30m/min
送り速度 f	0.05,0.1mm/rev
切り込み a	0.025mm/pass
切削液	無し 水溶性切削液(30倍希釈)
工具	超硬(JIS:K種相当、刃先半径0.4)

表2 切削条件(2)

被削材	鋳ぐるみ材(素地:高Cr白鋳鉄、Ni50%vol添加、含有サーメット粒子0.15mm以下)
切削速度 V	10,30,60,80m/min
送り速度 f	0.05mm/rev
切り込み a	0.025mm/pass
切削液	無し
工具	cBN(メーカーA、メーカーB、どちらも刃先半径0.4)

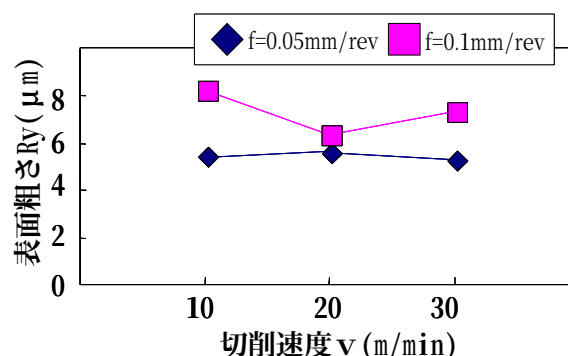
3 実験結果及び考察

3-1 超硬工具における表面粗さ

切削速度と送り速度が表面粗さに及ぼす影響を確認するため、切削条件(1)で端面切削した。この場合の表面粗さRyの実験結果を図に示す。Ryは切削速度による変化はないが、送り速度が遅いと値が小さくなった。また、切削液の影響を検討したところ、湿式切削(水溶性切削液供給)よりも乾式切削(切削液無し)の方が表面粗さが小さくなった。この結果はcBN工具を用いて超硬を振動切削した場合と同様であり²⁾、通常加工の場合とは異なっている。また、加工後の工具刃先を観察すると、乾式切削、湿式切削いずれの場合も欠損が確認された。そのため、より耐欠損性の高い超硬工具に変更し、加工負荷が小さい切削条件(V=40m/min、f=0.05mm/rev、a=0.01mm、超硬工具)で加工したが、表面粗さは小さくならず、かつ、刃先欠損も確認された。この切削条件で加工した表面を電界放射型電子顕微鏡(ERA-8800FE、エリオニクス(株)製)でEPMA分析した結果を図3に示す。元素可視化(Ti)イメージからサーメット粒子(TiC)が素地内に存在することがはっきりと観察され、その部分に相当する加工面を見ると、

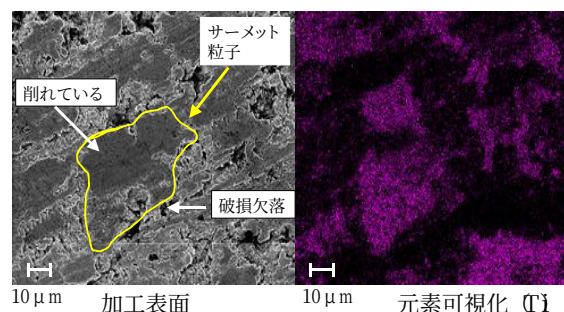
粒子の一部が切削されている部分と破損している部分の両方が確認された。そのため、表面粗さが大きくなった原因は、振動切削がもたらす加工衝撃によるサーメット粒子破損、工具刃先欠損による加工面への転写等が考えられるが、どちらが大きく影響しているかは現時点では不明である。

当初、新素材に含むサーメット粒子の硬度はHV3000程度のため、超硬工具(JIS:K種相当、HV2000)では加工困難な切削条件であると考えたが、鋳ぐるみにより、サーメット粒子の硬度が低くなると予想した。そのため、切削条件を変更しながら振動切削したが、欠損が発生するため、工具材種に関して再検討する必要が生じた。



a=0.025mm、超硬工具、乾式切削、振動切削

図2 切削条件(1)における表面粗さ



V=40m/min、f=0.05mm/rev、a=0.01mm、
超硬工具、乾式切削、振動切削

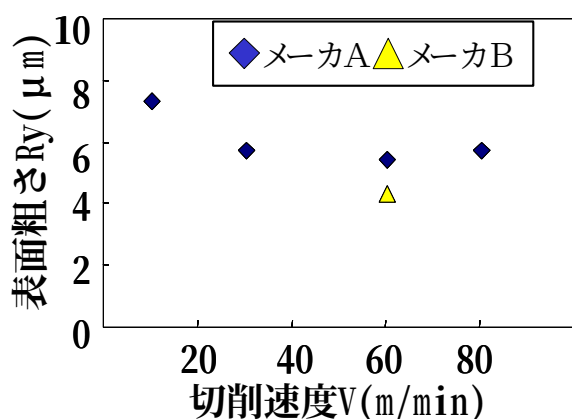
図3 加工面のEPMA分析

3-2 cBN工具における表面粗さ

超硬工具では切削できなかったため、より耐欠損性が高い工具材種としてcBN工具を選択した。振動切削による効果は、振動切削速度(=2 π ×平均片振幅0.0125mm×振動周波数27kHz=127m/min)が通常切削速度(工具が振動しない場合の切削速度)より速ければ効果が現れる³⁾といわれており、故に切削速度が低速であればより効果が発揮されると考える。しかし、図2の結果から、今回はその条件に該当しないのではないかと考え、更に切削速度を速く設定することで、切削速度と工具形状による影響を確認することとした。送り速度は図2の結果からf=0.05mm/revに固定し、表2の切

削条件（２）で端面切削した。この場合の表面粗さ R_y の実験結果を図４に示す。 R_y は切削速度が速くなるに従って小さくなり、 $V=40\text{m/min}$ 付近を超えると逆に大きくなった。この原因は不明であるが、原因の一つとして被削材に含まれるサーメット粒子をc BN工具で削る場合、その衝撃に耐えきれず工具刃先の欠損が生じその面が加工面に転写されるのではないかとと思われる。

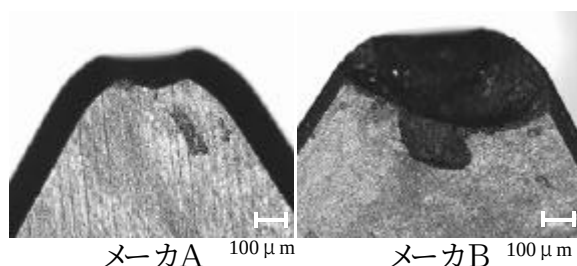
また、メーカーBのc BN工具に変更し切削したところ、 $V=10\text{m/min}$ では加工開始後にすぐ欠損したために測定できず、 $V=60\text{m/min}$ において測定可能であったが、刃先の状態を顕微鏡観察すると欠損がみられた。



$f=0.05\text{mm/rev}$ 、 $a=0.025\text{mm}$ 、c BN 工具

図４ 切削条件（２）における表面粗さ

図５にメーカー別による加工後の工具刃先形状を示すが、メーカーBはメーカーAに比較して多く欠損している。このように欠損の大きさに相違が生じる理由は、メーカーによってチャンファー角度（刃先欠損防止として刃先に面取り処理を施す処理）が異なるため、それが耐欠損性に影響しているのではないかとと思われる。今回の加工は一種の断続切削であるため、チャンファー角度が大きい工具を使用した方が有効であると思われる。以上、今回設定した加工条件において、 $V=60\text{m/min}$ 、 $f=0.05\text{mm/rev}$ 、チャンファー角度が大きいc BN工具とした切削条件で切削した場合、 R_y が小さくなる可能性があることが判った。



$v=60\text{m/min}$ 、 $f=0.05\text{mm/rev}$ 、 $a=0.025\text{mm}$
c BN工具、乾式切削、振動切削、

図５ 加工後の工具刃先形状

3-3 エジェクターピンの試作加工

共同研究企業（小西铸造（株）、宮古市）から支給された新素材（含有サーメット粒径：3.4mm 以下、素地：耐熱鋳鋼）をプレス金型のエジェクターピン形状に試作加工した。その結果、振動切削で鋳ぐるみ部分を切削したところ、表面粗さ R_y は $2.22\mu\text{m}$ となった。

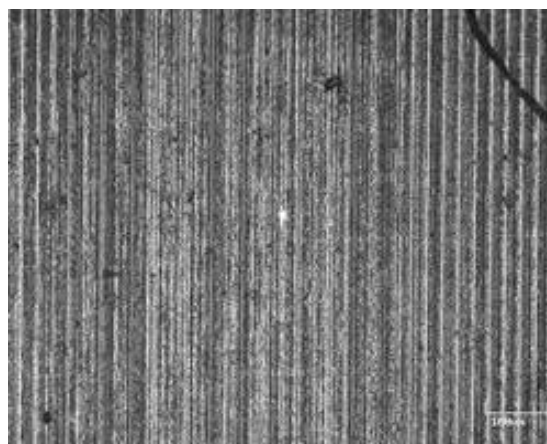
図６、図７に、試作品の形状及び振動切削された加工表面を示す。当初、検討した通常加工条件で切削を試みたが、被削材の逃げが発生し正常加工ができなかった。原因として、支給材料の鋳ぐるみ部分に含むサーメット粒子が大きくて工具が切り込めず加工表面をこすっている状態になってしまったこと、対象形状に加工する際 work の逃げが発生してしまったことが上げられ、その相乗効果により加工ができなかったと考えられる。

そのため、加工負荷が小さければ work の逃げも発生しないと考え、その条件に適合する振動切削⁴⁾で加工を試みたところ、正常に加工することができた。

以上のことから、新素材を振動切削した場合、切削速度はある程度早めに、送り速度は遅い方が面粗さを向上させる可能性があることが判った。また工具材種を選定する場合、新素材に含まれるサーメットよりも硬いc B



図６ 試作エジェクターピン



$V=20\text{m/min}$ 、 $f=0.025\text{mm/rev}$ 、 $a=0.005\text{mm}$ 、
ダイヤモンド工具、乾式切削、振動切削

図７ 加工面写真

Nあるいはダイヤモンドにした方がよいが、加工コストの比較及び刃先の健全性から考えてcBNでも十分切削可能であると考ええる。また、加工能率から考えて、送り速度を小さくする分切削速度を大きくしたいが、切削速度を大きくすると工具欠損が発生する。しかし、実験結果から最適切削速度が存在する可能性が推測できるので、切削速度毎の加工面のSEM観察を実施するなどして、振動切削の特性について更に考察する必要があると考える。

4 結 言

今回、新素材を被削材として振動切削に関する加工条件を検討し、併せて試作加工を行ったところ、以下のことが判った。

1) 今回設定した加工条件のうち、 $V=60\text{m/min}$ 、 $f=$

0.05mm/rev 、チャンファー角度が大きいcBN工具とした切削条件で切削した場合、表面粗さ R_y の値が小さくなる可能性があることが判った。

・新素材をプレス金型のエジェクターピンのような形状(径が小さくかつ片方持ち支持で加工しなければならない形状)に加工する場合には振動切削が有効である

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) 堀田他：岩手工技セ報告、10、21(2002)
- 3) 隈部淳一郎：精密加工 振動切削—基礎と応用—、実教出版、58(1979)
- 4) 隈部淳一郎：精密加工 振動切削—基礎と応用—、実教出版、21(1979)