

# 高精度加工に関する研究

## —難削材料の切削条件に関する研究—

西村 通喜・佐野 正明・藤原 和徳

### Study on High Precision Machining Technology

#### —The Cutting Condition of Difficult-to-cut Materials—

Michiyoshi NISHIMURA, Masaaki SANO and Kazunori FUJIHARA

#### 要 約

難削材と呼ばれる材料の中で、比較的、加工頻度の高いオーステナイト系ステンレスSUS304に対し、従来、金型加工などの分野での「高速切削加工法」、また高硬度材料に対して有効な加工方法として注目されている「超音波振動切削法」を適用して加工実験を行い、部品加工への可能性の検討を行った。その結果、従来の加工法に比べ微小切込み時の表面粗さや、切削時の切削抵抗の改善が認められ、難削材の高精度加工が可能となった。

#### 1. 緒 言

機械部品の高精度化にとまない、マシニング加工等切削加工においても、年々厳しい精度が要求されてきている。実際、当センターにおける精密測定に関する技術相談や実際に企業から持ち込まれた測定物の真円度測定、三次元座標測定等の測定結果からも何うことができる。このように以前では、部品の一部分だけに指定されていた特別な加工精度が、数年経つと極く当然ようになってきていて、今後更に厳しくなることが予想される。また、加工素材においても、多品種少量生産の流れの中で、従来の快削系材料のみならず、「難削材」と呼ばれるステンレス鋼、ハステロイ等高ニッケル基合金などの材料科上の仕事が急速に増えつつある状況である。

県内の切削加工関連の状況を見ても、加工部品の多品種少量化、短納期化及び厳しいコストダウンの要請の中で、経営環境は、非常に厳しいといえる。高度技術開発センターに対してもステンレスやハステロイ等の切削、研削加工に関する研究実施の要望が出されている。

そこで、難削材のうち最も加工頻度の高いオーステナイト系ステンレスのSUS304の高精度切削加工条件を把握するため研究に取り組んだ。

本研究は、従来、金型加工に適用されている高速切削加工法と高硬度材料の旋盤加工等に適用されている超音波振動切削加工法を難削材の加工に試み、部品加工の高精度化を日票に実験を行った。以下、結果について報告をする。

#### 2. 実験方法

##### 2-1 被削材

本研究では、難削材の中でも比較的、加工頻度が高いオーステナイト系ステンレス鋼SUS304を使用し、実験を行った。この材料の代表的特性を以下に示す。

- ・加工硬化が生じやすい
- ・熱伝導率が小さい
- ・工具材料との親和性が高い

##### 2-2 実験装置

切削試験に使用した加工機は縦型3軸のマシニングセンタ（三井精機：VU-50A）で、最高主軸回転数は20,000rpmである。高速加工実験では、通常の2面拘束ホルダを使用し加工実験を行った。超音波振動切削試験については、2面拘束ホルダ部分に超音波振動装置（富士工業：FUM-1）を付加し、実験を行った。超音波振動切削加工装置は、工具先端に周波数27kHz、振幅10~20 $\mu$ mのねじり振動を与えながら加工することが可能な装置である。装置の外観を図1に示す。切削抵抗の測定は、垂直分力、送り分力、背分力の3分力について切削動力計（キスラー：9257B）の上に被削材を固定し、加工時の切削抵抗を測定した。切削抵抗について、3成分の力関係を図2に示す。

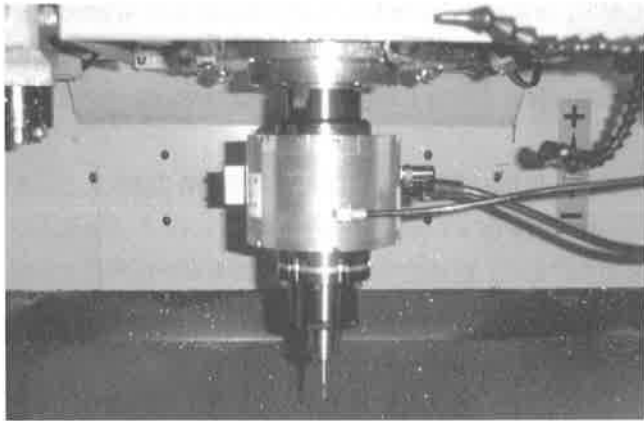


図1 超音波振動切削装置

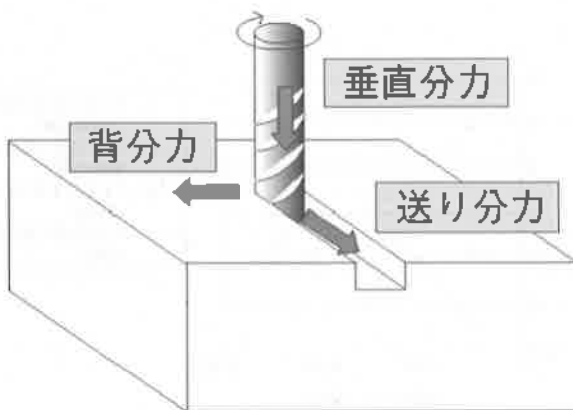


図2 切削抵抗の力関係

### 2-3 切削工具及び切削条件

加工工具は全て直径3mmのスクエアエンドミル(2枚刃)を使用した。加工にあたり、素材上面を0.5mm程度全面加工した上で、溝切削加工を行った。また、加工時は切削液は使用せず、全てエアブローで行った。

#### 1) 加工方法の違いによる表面の加工硬化

通常の切削加工、超音波振動切削加工及び高速切削加工よりそれぞれ溝加工を行った。加工にともなう表面の加工硬化の生成の程度については、溝底面の表面硬さをマイクロビッカース硬度計で測定し評価した。

3種類の加工形態での加工条件は以下のとおり

通常切削：2)の条件(加工深さ0.5mm)

超音波振動切削加工法：2)の条件(加工深さ0.5mm)

高速切削加工：4)の条件(送り速度300mm/min)

#### 2) 切削深さによる変化

通常の切削加工と超音波振動切削加工について、切込み深さを0.5~2mmと変化させ加工し、切削抵抗と表面粗さを比較した。

工具材種：ハイスエンドミル

切削速度：24.5m/min

送り速度：40mm/min

#### 3) 微小切込み深さによる変化

仕上げ加工を想定し、最初に通常の切削加工で切込み深さ1.5mmで加工した後、加工表面層に加工硬化が生じている状況で、微小切込み深さを変化させて加工し、切削抵抗と粗さを比較した。

工具材種：ハイスエンドミル

切削速度：24.5m/min

送り速度：40mm/min

#### 4) 高速切削加工

切削加工速度は加工機の最高回転数(20000rpm)に設定し、切込み深さ一定、送り速度を300~1000mm/minの条件のもと加工を行い、切削抵抗と表面粗さを比較した。

工具材種：超硬エンドミル

切削速度：188.4m/min

切込み深さ：0.1mm

### 3. 結果及び考察

#### 3-1 加工方法の違いによる加工硬化

加工方法を変え、溝切削を行った結果の表面硬さを表1に示す。この結果から、加工方法による表面の加工硬化は通常切削加工、高速切削加工いずれの場合も、およそ1.5倍程度、また超音波切削加工時1.7倍程度であった。なお、加工硬化は表面付近で発生していて、断面を深さ方向に硬さ測定した場合、母材硬さとほとんど変化なかった。

この結果から、仕上げ加工では、別の素材を加工するつもりで加工条件を設定する必要がある。

表1 加工底面の表面硬さ

加工方法	硬さ (Hv)
母材硬さ	215
通常切削加工	330
超音波振動切削加工	370
高速切削加工	300

#### 3-2 切込み深さによる変化

切込み深さを変え、溝加工を行った場合の切削抵抗の測定結果を図3に示す。切込みを大きくした場合、切削抵抗が大きくなるのは当然であるが、通常の加工と比較して超音波振動切削加工の方が、切削抵抗が下がると予想されたが、通常の加工と同様の結果となった。切込みが大きい場合は素材硬度の低い部分を加工しているので、超音波振動が吸収されてしまい効果が現れないものと推測される。

また、切込みと底面の表面粗さの関係を図4に示し、表面の拡大図を図5に示す。表面粗さについては、通常の切

削加工に比べ、超音波振動切削加工の方が全体的に良い結果となった。表面の拡大図からもわかるように、通常の切削加工では、表面のむしれのような大きな傷があり、Ry値の増大の要因になっている。それに比べ超音波振動切削は特徴的なうろこ状の切削痕が見られるが、切込み深さに関係なく安定した表面粗さとなった。

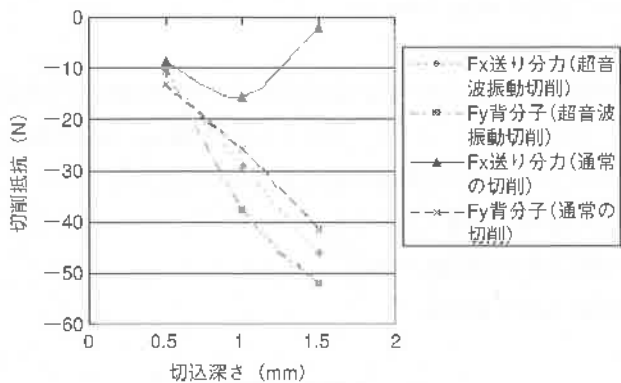


図3 切込み深さと切削抵抗

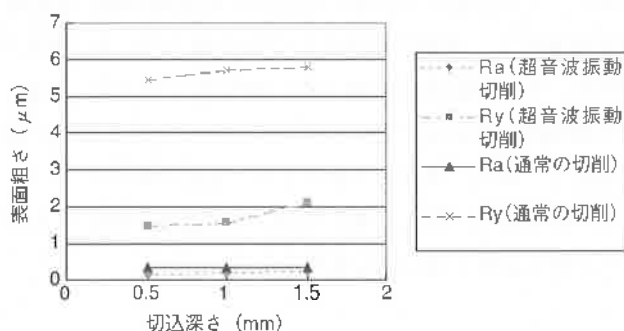
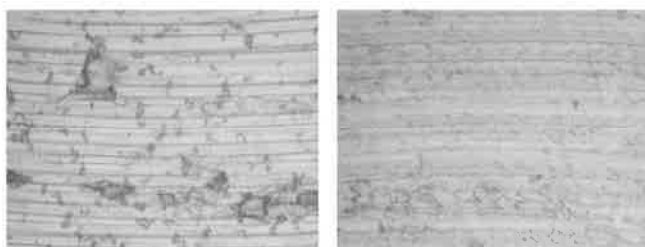


図4 切込み深さと表面粗さ



通常の切削加工      超音波振動切削加工

図5 1.5mm切込み時の表面粗さ拡大図

### 3-3 微小切込み深さによる変化

微小な領域において切込み深さを変え、溝加工を行った場合の切削抵抗の測定結果を図6に示す。通常の切削方法で仕上げ加工を想定し、微小切込みで加工した場合、通常、切込みが浅ければ切削抵抗は小さくなるはずであるが、表面が硬化しているため、大きくなったものと推測される。

しかし、通常の加工と比較して超音波振動切削加工の場合、切込み深さに関係なくほぼ一定である。これは、超音波振動切削は、あまり加工硬化の影響を受けないことを示している。

また、切込みと底面の表面粗さの関係を図7に示し、表面の拡大図を図8に示す。表面粗さについても、通常の切削加工に比べ、超音波振動切削加工の方が全体的に良い結果となり、特に微小な領域ではその傾向が大きくなった。この理由は、切削抵抗の場合と同じであると推測される。表面の拡大図からもわかるように、通常の切削加工では、表面のむしれのような大きな傷があり、Ry値の増大の要因になっている。

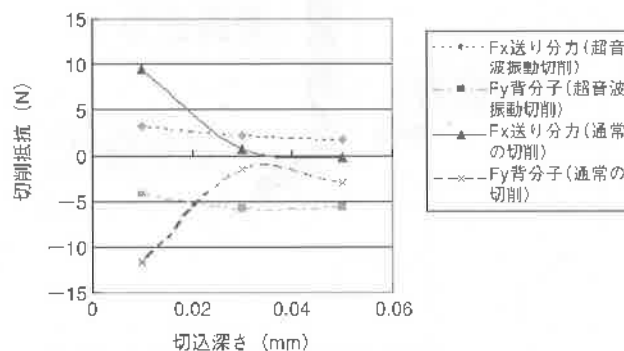


図6 微小切込み深さと切削抵抗

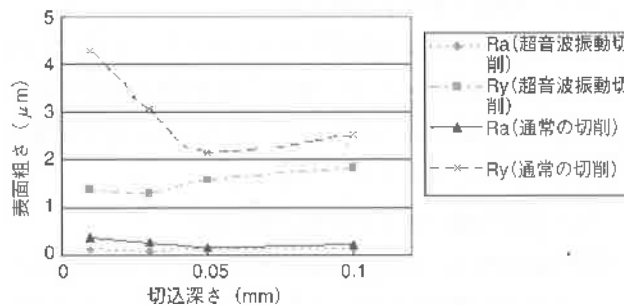
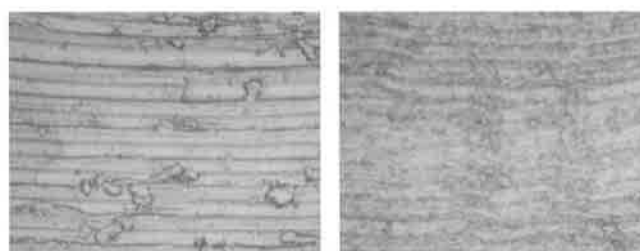


図7 切込み深さと表面粗さ



通常の切削加工      超音波振動切削加工

図8 0.01mm切込み時の表面粗さ拡大図

### 3-4 高速切削加工

高速切削加工において、切込み一定(0.1mm)で、送り速度を変化させた場合の切削抵抗との関係を図9に示す。この結果から、送り速度を上げた場合、切削抵抗も大きくなる傾向にある。通常切削と比較して、1刃あたりの送りを同じ場合と比較しても切削抵抗が小さいため、高精度な加工に適していると考えられる。

また、底面の表面粗さの関係を図10に示し、表面の拡大図を図11に示す。理論的には、送り速度を上げると表面粗さは悪くなるが、実験した範囲内では、Ra値に関しては比例関係が成立している。これは拡大図からも明らかで、送り速度が大きくなると加工表面にむしれのような傷が現れ、これがRy値の増大に寄与していると推測される。以上の結果から、高速切削加工においても適正な送り速度が存在するといえる。

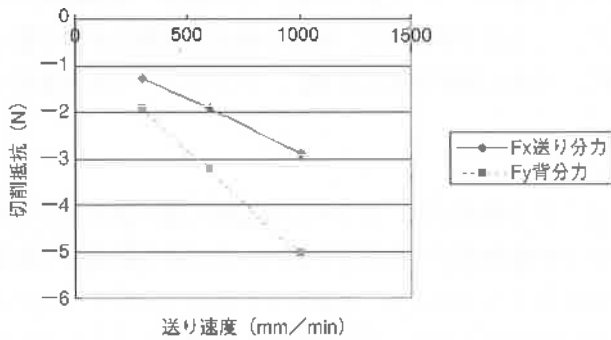


図9 送り速度と切削抵抗

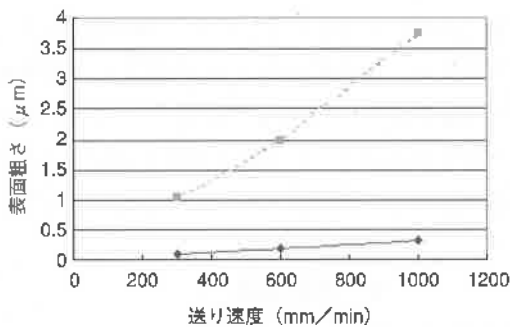
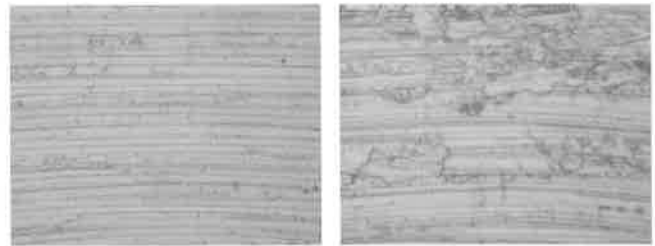


図10 送り速度と表面粗さ



送り速度300mm/min      送り速度1000mm/min

図11 高速切削加工時の表面粗さ拡大図

## 4. 結 言

切削加工が困難であると言われる難削材料に対し、超音波振動切削加工を行うことにより、比較的切込みが大きい荒加工の場合、また切込み量の微小な仕上げ加工の場合において表面粗さの向上や、切削抵抗の低減が可能となった。この結果、加工硬化が起きやすいSUS304のようなステンレス材の精密加工が可能になるものと思われる。

また、高側切削加工の場合も、適正な加工条件を選定することによって、切削抵抗が低い状態を保持し、薄物加工などの分野で高精度な加工が可能となることが判明した。

本研究では、工具寿命の問題や他の難削材への適用については、引き続き研究を進める予定である。

### 参考文献

- 1) 狩野 勝吉：切削加工ハンドブック，工業調査会（2002）