

## 金属材料に対する超精密切削ナノメートルオーダー仕上げ面粗さの形成

有明高専 創造工学科  
篠崎 烈  
Akira SHINOZAKI

有明高専 創造工学科  
坂本武司  
Takeshi SAKAMOTO

株式会社タンガロイ  
横山 僚治  
Ryoji YOKOYAMA

Ultra-precision cutting technology to machine nano-meter scale finished surfaces for metal workpieces  
National Institute of Technology, Ariake College and Tungaloy Co., Ltd.

**Key words:** ultra-precision cutting, cutting tool, surface roughness, cutting conditions, metal workpiece

### 1. はじめに

近年の半導体産業や光学部品産業において、ナノメートルオーダーの表面粗さを有する超精密仕上げ面の需要は、これまで以上に高まっている。アルミニウムや無酸素銅等の軟質材料に対する仕上げ面の算術平均粗さ  $Ra = 5 \text{ nm}$  程度の超精密切削仕上げ面粗さは、[1]超精密加工機, [2]ダイヤモンドバイト, [3]低送り・低切込みの切削条件により加工することで実現できる技術である。さらに製造コストを下げ、加工効率が良い製造技術が開発されれば、超精密部品の前加工工程を減らすことにつながる。

本研究では、超精密切削に使用される工具に注目し、仕上げ面粗さがナノメートルオーダーまで小さくなる超精密加工技術について検討した。

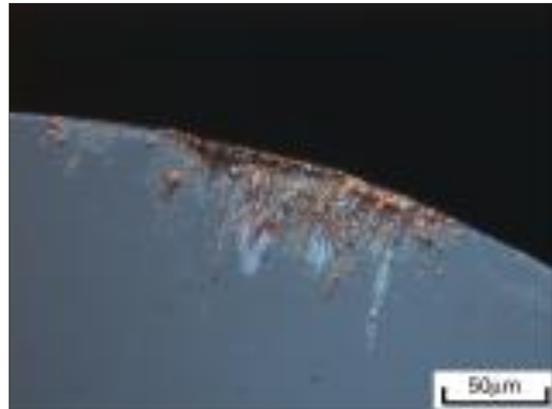
### 2. 超精密切削加工の概要

超精密切削加工は、非常に鋭利で高精度に整えられた刃先稜を有するダイヤモンドバイトを用いて、図1に示されるようなナノメートルオーダーの運動精度の工作機械によって加工される技術である。工具と工作物間に相対運動を与えることで、刃先形状が工作物に転写されるメカニズムで仕上げ面が形成される。このような加工技術は、アルミニウムや無酸素銅等の軟質材料に対して行われ、光学レンズや電子部品の製造技術として、ほぼ確立されている。

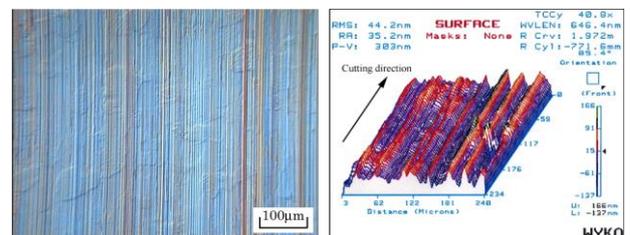
一方、ステンレス鋼やチタン合金等の難削材と言われる素材に対しては、図2に示すように、ダイヤモンドバイト先端に大きな工具摩耗が比較的短い切削距離  $L = 60 \text{ m}$  程度で発生することから、ダイヤモンドバイトを用いた加工は難しいとされている。得られる超精密切削仕上げ面は、図3(a)に示されるようにチタン合金の結晶粒界が観察できる程度になり、仕上げ面粗さ  $Rz = 305 \text{ nm}$  (P-V),  $Ra = 35 \text{ nm}$  程度の切削加工面となる。このようなことから、過去の研究では、ダイヤ



**Fig. 1** Ultra-precision cutting machine (ULC-100D, Shibaura machine Co., Ltd.)



**Fig. 2** Diamond tool wear after titanium alloy cutting at cutting length of  $L = 60 \text{ m}$



(a) Face turned surface (b) Surface roughness

**Fig. 3** Face turned surface of titanium alloy surface with the diamond tool turning

モンドバイトではなく、コーティング超硬バイトを用いた超精密切削加工技術について検討している。<sup>1)</sup>

### 3. 加工条件および実験概要

超精密加工実験は、図4に示されるように超精密旋盤（ULC-100D，芝浦機械製）の真空チャックに直径30 mmの鉄系工作物を取り付け，正面からコーティング超硬バイトで加工する正面旋削で行った。加工中は切削点付近に不溶性切削油剤をミスト供給している。加工条件は，工具切込み量  $d = 5 \mu\text{m}$ ，工具送り量  $f = 2 \mu\text{m/rev}$ ，切削速度  $V = 0 - 110 \text{ m/min}$  とした。本実験では，切削初期の状態を観察するために切削距離  $L = 40 \text{ m}$  程度で超精密加工している。

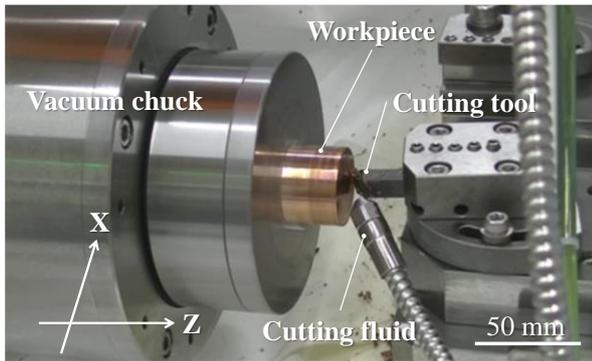


Fig. 4 Overview of ultra-precision cutting process

### 4. コーティング超硬バイトを用いた切削加工実験

図5に炭素鋼S45Cをコーティング超硬バイトで超精密切削した仕上げ面の顕微鏡観察写真を，図6に表面粗さの測定結果を示す。図5(a)に示すように切削速度  $V = 110 \text{ m/min}$  で加工した場合は，切削方向に大きなクラックが発生しているのがわかる。一方，低切削速度  $V < 1 \text{ m/min}$  で加工した場合，加工時間は長くなるが，切削方向のクラックはほとんど見られない。クラックの深さは，図6(a)の測定結果より  $400 \text{ nm}$  程度であり，図6(b)に示す  $1 \text{ m/min}$  以下の場合の結果では  $105 \text{ nm}$  程度まで減少しているのがわかる。これらのクラックは，加工によって炭化物粒子が発生し，それらが工具先端で引っ張られたためにできたものであると推測できる。工具摩耗は図7に示すように，切削速度  $110 \text{ m/min}$  の場合よりも  $1 \text{ m/min}$  以下の方が  $10 \text{ mm}$  程度小さくなっている。切削速度の減少で炭化物粒子の発生が減少し，それに伴って工具摩耗も小さくなったと考えられる。

### 5. まとめ

本研究では，ナノメートルオーダーの表面粗さを得るために，コーティングバイトによる鉄系材料の超精

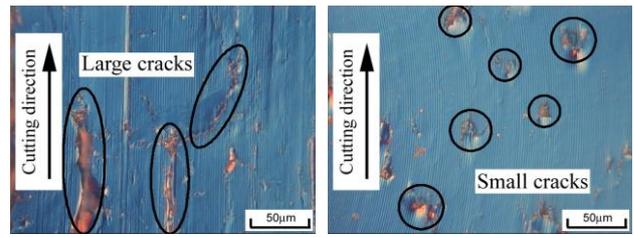


Fig. 5 Ultra-precision face-turned surfaces of S45C in cutting speed of  $V = 110 \text{ m/min}$  and  $V < 1 \text{ m/min}$  [ $f = 2 \mu\text{m/rev}$ ,  $d = 5 \mu\text{m}$ ,  $L = 39 \text{ m}$ , Soluble type cutting fluid]

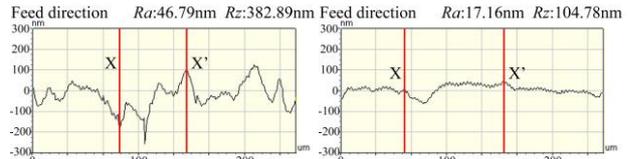


Fig. 6 Comparison of face-turned S45C surface roughness in feed direction with cutting speed of  $V = 110 \text{ m/min}$  and  $V < 1 \text{ m/min}$

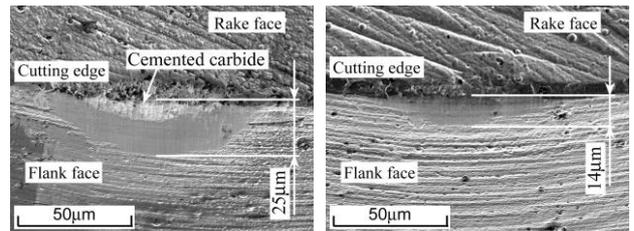


Fig. 7 Comparison of flank face wear after cutting of S45C in cutting speed of  $V = 110 \text{ m/min}$  and  $V < 1 \text{ m/min}$

密切削について検討し，以下の結果が得られた。

- 炭素鋼 S45C を高切削速度および低切削速度で超精密切削すると，低切削速度で得られる仕上面では炭化物粒子の影響が小さく  $Rz = 105 \text{ nm}$  程度の仕上面を得ることができた。
- 炭化物粒子が工具摩耗に及ぼす影響が小さくなり，逃げ面摩耗が  $VB = 25 \mu\text{m}$  から  $14 \mu\text{m}$  まで減少した。

### 謝 辞

本研究は，有明広域産業技術振興会令和5年度地場産業振興支援研究よりご支援頂きました。心からお礼申し上げます。

### 参考文献

- コーティング超硬バイトによるステンレス鋼 SUS316 の超精密切削加工，精密工学会誌，坂本重彦，安井平司，篠崎烈，藤森彰，pp.397-401，Vol.70，No.3，(2004)