

# 微細周期構造を有する切削工具の開発研究

加工技術課 川堰宣隆, 森本英樹 PJ 推進担当 杉森博\*

## 1. 緒言

近年、環境負荷の低減などの観点から MQL<sup>1)</sup>加工が注目されている。この方法では、切削油の量を減らすことで廃棄コストを低減できる反面、工具寿命や切削抵抗は悪化しやすい傾向にある。本研究では、この問題を解決する手法として、固体表面にマイクロ・ナノメートルスケールの微細な周期構造を作製することで、表面の摩擦力が著しく低下する現象<sup>2)</sup>に着目した。これを切削工具に適用することで工具・被削材表面間の摩擦力が低下し、優れた加工性を持った切削工具の開発が可能になると考える。これまでに工具表面に溝加工を行い、油だまりを作製する試みが研究、現場レベルで行われている<sup>3) 4)</sup>。しかし、その溝幅は数十 $\mu\text{m}$ 以上であり、加工単位と比較して大きいとともに、加工の際にクラックの発生源になってしまうなどの問題があった。溝幅を数 $\mu\text{m}$ 以下に設定することで、これらの問題を回避したうえで摩擦力低減の効果を得ることが可能になると考える。

本研究では、工具表面にマイクロ・ナノメートルオーダーの周期的なテクスチャを作製し、そこで発現する摩擦力の低下現象を応用することで、優れた加工性を持った切削工具を開発することを目的とする。本報では、工具表面に任意の微細周期構造を作製する手法について検討した。

## 2. 実験方法

本研究では、工具表面に微細な周期構造を作製する手法として、フェムト秒レーザーを用いた。フェムト秒レーザーでは、パルス幅が数百 fs オーダと小さく、熱反応が生じる前にアブレーションが行われる。このため、熱影響の極めて小さな微細加工を行うことができる。フェムト秒レーザー加工には、サイバーレーザー社製 IFRIT1.0W を使用した。被加工材料には、超硬合金(WC-Co)を表面研磨(表面あらさ Rz: 0.1 $\mu\text{m}$ )したものを使用した。表 1 は、加工条件である。

## 3. 実験結果および考察

本研究では、微細周期構造を作製する手法として 2 種類の方法を適用した。一方は、ビーム径を十数 $\mu\text{m}$ に設定し、レーザーの干渉により微細加工を行う手法<sup>2) 5)</sup>である。他方は、ビーム径を数 $\mu\text{m}$ 設定し、アブレーションにより直接加工する手法である。これらの手法を使い分けることによって数百

Table 1 Irradiation conditions.

Sample	Cemented carbide
Pulse duration (fs)	180
Output power (mW)	50 ~ 200
Beam diameter ( $\mu\text{m}$ )	3, 14
Scanning velocity ( $\mu\text{m}/\text{s}$ )	100 ~ 500

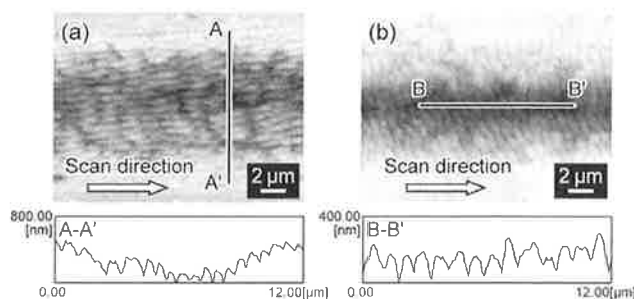


Fig. 1 AFM topography image of cemented carbide surface irradiated by femtosecond laser at the beam diameter of 14  $\mu\text{m}$ . The laser was scanned with (a) perpendicular and (b) parallel to the polarization direction.

nm~数 $\mu\text{m}$  単位の任意形状のパターニングを高能率に行うことができると考える。

図 1 は、前者の手法を用いて、出力 100mW、走査速度 500 $\mu\text{m}/\text{s}$ で加工を行った試料表面の AFM 観察像である。幅約 10  $\mu\text{m}$  の領域内にピッチ 800nm、深さ 150nm の周期構造が作製された。フェムト秒レーザーを任意の速度で走査すると、入射光と表面散乱光が干渉を起こす。これによってピッチ、深さが数百 nm オーダの微細な周期構造が形成される。一方、走査方向を 90°回転させた場合、走査方向に対して垂直に周期構造が形成された。本実験条件内では、走査速度による周期構造のピッチ、深さに大きな違いは見られなかった。

図 2(a)は、後者の手法を用いて出力 150mW、走査速度 500 $\mu\text{m}/\text{s}$ で加工を行った試料表面の AFM 観察像である。加工部ではアブレーションが行われ、深さ 1.3 $\mu\text{m}$ 、幅 2.2 $\mu\text{m}$  の加工痕が形成された。本手法により、幅、深さが数 $\mu\text{m}$  オーダの微細な溝加工を行うことができることがわかる。同図(b)は、出力 150mW、走査速度 100 $\mu\text{m}/\text{s}$ で加工を行った試料表面の SEM 観察像である。走査速度が小さくなると、加工部周辺にはバリが形成されることがわかる。図 3 は、出力 50mW、150mW で加工したときの、加工痕

\*現 企画情報課

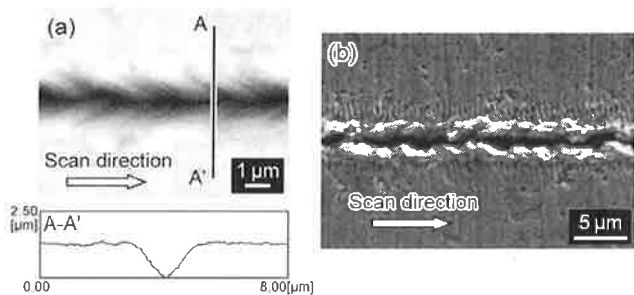


Fig. 2 (a) AFM topography image of cemented carbide surface irradiated by femtosecond laser at the beam diameter of 3  $\mu\text{m}$ , output power of 150 mW and scanning velocity of 500  $\mu\text{m}/\text{s}$ . (b) SEM image of cemented carbide surface irradiated at the output power of 150 mW and scanning velocity of 100  $\mu\text{m}/\text{s}$ .

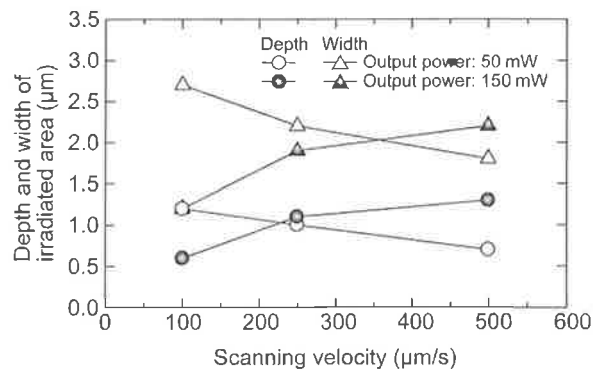


Fig. 3 Changes in depth and width of the irradiated area at various scanning velocities.

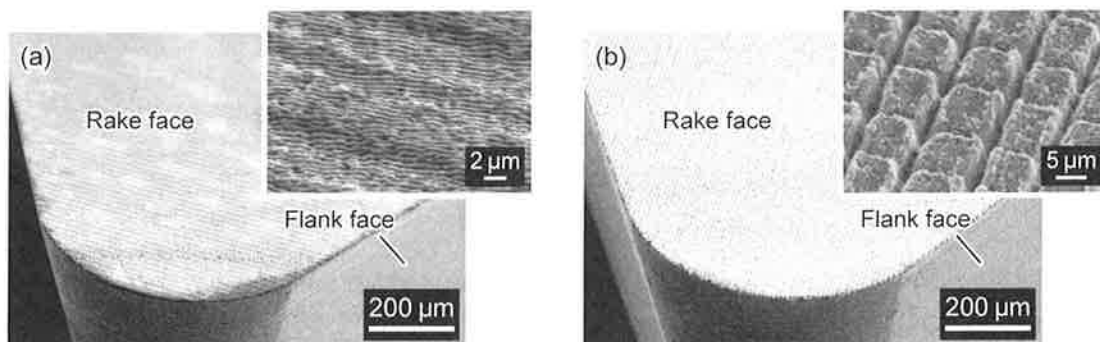


Fig. 4 SEM image of cutting tool with micro/nanometer-scale periodic structures patterned by femtosecond laser. The pitches of periodic structure are (a) 800 nm, and (b) 10  $\mu\text{m}$ .

深さ、幅の走査速度依存性である。出力が 50mW の場合、走査速度の増加にともない、深さ、幅は小さくなった。一方、出力が 150mW になると、走査速度が小さな場合にバリが発生し、幅、深さは小さくなった。すなわち、本手法を適用する場合、バリが形成されないように条件を設定することが必要なことがわかる。

図 4 は、これらの結果を応用して作製した、微細周期構造を持った切削工具の SEM 観察像である。本報で提案した手法を用いることで、工具表面に数百 nm～数 $\mu\text{m}$  オーダの任意の微細周期構造を作製することが可能であった。

#### 4. 結言

本研究では、切削工具表面にマイクロ・ナノメータスケ-

ルの微細周期構造を作製する手法について検討した。フェムト秒レーザを適用することで、大きさ数百 nm～数 $\mu\text{m}$  オーダの周期構造を高効率に作製することが可能であった。今後は、作製した工具の加工性能について検討していく。

本研究の遂行に際し、御助言、御協力を賜りました富山大学 森田昇教授、(株)不二越 神田一隆様に御礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1) K. Weinert *et. al.*, *Annals CIRP*, **53** (2004) 511.
- 2) 沢田ほか, 精密工学会誌, **70**, 1 (2004) 133.
- 3) C. J. Evans and J. B. Bryan, *Annals CIRP*, **48** (1999) 541.
- 4) 榎本ほか, 日本機械学会第 6 回生産加工・工作機械部門講演会講演論文集 (2006) 163.
- 5) N. Yasumaru *et. al.*, *Appl. Phys. A*, **79** (2004) 425.

キーワード: 切削加工, 機能性表面, フェムト秒レーザ, MQL

## Development of a Cutting Tool with Micro/Nanometer-Scale Periodic Structure

Noritaka KAWASEGI, Hideki MORIMOTO and Hiroshi SUGIMORI

A novel cutting tool which has micro/nanometer-scale periodic structure on the surface is proposed in this study. By texturing periodic structures on a solid surface, frictional characteristics can be controlled by the shape and direction of the structures. To fabricate periodic structures on a tool surface, femtosecond laser was employed, and the shape dependence on various irradiation conditions was investigated. As a result, periodic structures with pitch and depth of several hundreds to thousands nanometers could be fabricated on the carbide tool surface, which indicating that this method is effective for the fabrication of micro/nanometer-scale periodic structure on a tool surface.