レーザ加工マイクロファブリケーションによる単結晶ダイヤモンド製 マイクロフライス工具の試作と超硬合金の超精密切削

Micro fabrication of micro milling tool of SCD by Laser and ultraprecision machining of tungsten carbide

鈴木浩文・中部大学

藤井一二・日進工具

岡田睦・中部大学

Hirofumi Suzuki, Chubu University

Katsuji Fujii, NS Tool

Mutsumi Okada, Chubu University

古木辰也・中部大学

中野恵太・中部大学

Tatsuya Furuki, Chubu University

Keita Nakano, Chubu University

Key Words: *Ultraprecision cutting, Milling tool, Single crystalline diamond, Tungsten carbide, Tool wear*

Ceramic dies and molds are usually ground with micro diamond wheels trued carefully on the machine before grinding. Grinding wheel wear is high, however, making it difficult to maintain the wheel's original sharp edge and to machine the structured surface. In this study, micro milling tools made of Single crystalline diamond (SCD) have been developed to machine ceramic micro molds. Cutting edges are ground with diamond wheels. SCD milling tool wear is evaluated by cutting binder-less tungsten carbide molds and machining aspheric molds. From experimental results, it clarified that the tool wear decreased because the milling is interrupted cutting and surface roughness was 10 -30nm Rz in aspheric cutting.

1. 緒言

非球面ガラスレンズは超高合金やSiCなどのセラミック型を用いたガラスモールドにより量産され、それらの非球面金型は、従来はダイヤモンドホイール(砥石)による超精密研削と研磨加工により行われてきた。これまで筆者らはそれらの高精度化・高能率化を行うためにPCD(多結晶ダイヤモンド)製のマイクロフライス工具を開発し、超硬金型の非球面切削による仕上げ加工を実現した¹⁾。本報告では、さらに金型加工の高精度化・高能率化を行うために、レーザ光を用いて単結晶ダイヤモンドに三次元加工を試み、多数の切刃を有するマイクロフライス工具を試作し、超硬製非球面金型の超精密切削を試みて実用レベルの切削加工の可能性を検証したので報告する。実験では、平面形状の超硬合金を用いて、マイクロフライス工具の摩耗量を評価し、非球面形状の金型の量産実験を行いPCD工具と比較した。

2. 単結晶ダイヤモンド製フライス工具のレーザ加工

円柱状の単結晶ダイヤモンドを超硬製の円柱状シャンクにろう付けし、図1に示すように駆動テーブルに固定し、スポット径1 μ mに集光されたレーザビームを3次元制御して、多数の切刃を有するマイクロフライス工具を試作した。単結晶ダイヤモンドの方位は上面が(111)面となるようにした。上述のようにしてレーザビームを用いた三次元加工により試作した単結晶ダイヤモンド製のマイクロフライス工具のSEM写真を図2に示す。

Figure 1. Laser fabrication of SCD milling tool

Figure 2. SEM image of micro milling tool of SCD

このようなマイクロフライス工具による微小切削の特徴は以下の通りである。(1)断続切削であるため工具の加熱期間が短く、クーラントによる冷却期間が長いので、工具温度が旋削加工のように上がらない。(2)その結果、旋削におけるバイトほど工具摩耗が大きくなる。(3)また、多刃工具であるため実切り込み量は見かけの切込量より十分小さくなり、(4)硬質脆性材料でも延性モードの切削が実現しやすい。(5)さらに、工具は回転するため、刃先の輪郭精度の影響を受けず真円として扱えるため、非球面形状の加工精度に高周波数の形状誤差(うねり)が生じにくい。

3. 実験装置

試作した単結晶ダイヤモンド製マイクロフライス工具を用いて軸対称非球面金型の切削実験を行った。実験の外観図を図3に示す。1nm分解能のリニアモータ駆動の超精密加工機ULG-100D(SH3)を用いて、X, Z軸の同時2軸制御で加工を行った。工具スピンドルは高速エアスピンドルを45°傾斜させて斜軸切削を行った。切削実験では微粒子超硬合金(日本タングステン(株)製RCCFN)を用いた。最初に表1の実験条件

で工具摩耗を評価し、次に表 2 の条件で非球面切削実験を行った。工具は一定の速度で回転させながら半径方向に駆動した。工具の回転とワークの回転は直行する。

4. 切削実験結果

表 1 の条件で $\phi 10\text{mm}$ の微粒子超硬合金を切削し、その都度、工具先端形状をカーボン材にプランジカットして転写し、その形状を非接触形状測定器 (NH) にて計測し、デジタルデータを図 4 に示すように重ね合わせて、工具の摩耗量を算出した。ダイヤモンド工具の摩耗の変化を図 4(a) に、摩耗体積を図 4(b) に、ワークの除去体積を工具摩耗体積で除したものを図 4(c) に示す。ダイヤモンド砥石や PCD 工具より摩耗が極めて小さいことが分かる。

また、表 2 の条件で $\phi 6\text{mm}$ の非球面金型を切削した時の形状精度の変化を図 5 に示す。通常の仕上げ研削と同じように切込の合計が $5\mu\text{m}$ とした。通算 20 個の超硬金型を仕上げたことを意味する。その間の形状精度の変化は補正加工無しでも僅かであった。また表面粗さの変化を図 6 に示す。工具の摩耗とともに表面粗さは良好となっているのがわかる。

5. 結言

本報告では、レーザ光を用いて単結晶ダイヤモンドに三次元加工を施し、多数の切刃を有するマイクロフライス工具を試作し、超硬製非球面金型の超精密切削を試みて実用レベルの切削加工の可能性を検証した。その結果、これまで行ってきた PCD 工具よりもさらに高精度化が可能であることが明らかとなった。

Figure 4. Results of tool wear experiments

参考文献

- 1) H. Suzuki, T. Moriwaki, Y. Yamamoto, Y. Goto: Precision Cutting of Aspherical Ceramic Molds with Micro PCD Milling Tool, Annals of CIRP, 56, 1(2007) pp.131-134.

Figure 3. View of cutting

Table 1. Cutting conditions of fundamental experiment

Mold	Binderless WC
Diameter	$\Phi 10\text{ mm}$
Form	Flat
Rotation	100 min^{-1}
Tool	SCD
Rake angle	-40°
Relief angle	0°
Cutting edges	10
Rotation	$60,000\text{ min}^{-1}$
Depth cut	$0.5\text{ }\mu\text{m/min}$
Feed rate	0.5 mm/min
Coolant	Oil mist

Table 2. Cutting conditions of aspheric cutting

Mold	Binderless WC
Diameter	$\Phi 6\text{ mm}$
Approx. radius	100 mm
Rotation	100 min^{-1}
Tool	SCD
Rake angle	-40°
Relief angle	0°
Cutting edges	10
Rotation	$50,000\text{ min}^{-1}$
Depth cut	$0.5\text{ }\mu\text{m/min}$
Feed rate	0.1 mm/min
Coolant	Oil mist

Figure 5. Change of form accuracy in aspheric WC cutting

Figure 6. Change of surface roughness in aspheric WC cutting