

超精密 6 軸制御切削加工のセッティング誤差の補正

東京農工大学 ○山岸 知輝, 東京農工大学大学院 ◎中本 圭一

要 旨

超精密 6 軸制御切削加工において、セッティング時に起こりうる工具先端の原点合わせや回転中心との誤差は、加工精度に大きな影響を及ぼす。しかし、これまでのセッティング誤差の補正では、オペレータの熟練度に依存する作業が多く、効果が不確実であった。そこで本研究では、超精密 6 軸制御切削加工における新たなセッティング誤差補正手法を提案し、その有用性を確認した。

1. 緒 論

近年、ミラーやレンズ上に回折格子を構成することにより複数の機能を 1 つの光学素子に集約する機能集約型の光学素子が市場に出てきている¹⁾。ここで要求される光学素子の形状は、3次元曲面上に回折格子としてマイクロ溝が任意方向に構成されている複雑な形状である。そのような形状の加工には、工具干渉などの点から非回転工具を用いた自由度の高い 6 軸制御切削加工が有効である。しかしながら、6 軸制御切削加工は、図 1 のように、工具の取付けや被削材の位置合わせ等のセッティング時に生じる誤差、つまりセッティング誤差を伴う。したがって、加工機本来の性能を十分に発揮するには、このセッティング誤差を補正する必要がある。超精密 6 軸制御マシニングセンタにおけるセッティング時の誤差要因は主に 7 つあり、それらを低減する補正手法がこれまでに提案されている²⁾。しかし、従来の補正手法では、被削材に直接試し加工を行っているため、特に硬脆材料を加工する場合、工具のチッピングや激しい摩擦を引き起こす可能性がある。そこで本研究では、上記の課題を解決した新たな誤差補正手法を提案し、その有用性を検証することを目的とする。

2. 従来のセッティング誤差補正手法

本研究では、超精密 6 軸制御マシニングセンタ FANUC Robonano Ui を用いる。その構造を図 2 に示す。この加工機は X, Y, Z の直進 3 軸と A, B, C の回転 3 軸の計 6 軸で制御されている。各軸の最小分解能は直進 X, Y, Z 軸が 1 nm, 回転 A, B, C 軸が 0.00001° である。

各誤差要因に対する従来のセッティング誤差補正手法について説明する。図 1 に示すように、工具刃先と B 軸回転中心の補正に関しては、加工機の性質上、偏重による故障を考慮すると、工具刃先と B 軸回転中心とが大きく離れた状態でセッティングせざるを得ない。そこで、図 3 に示すように、B 軸の回転角を変化させ、溝加工を実施し、加工痕の溝深さをそれぞれ計測する。このとき、B 軸回転中心と刃先先端とが一致していない場合には、溝深さが 3 本全てで異なるため、これらの溝深さ

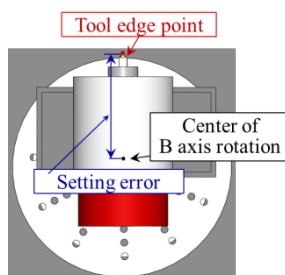


Fig. 1 An example of setting error

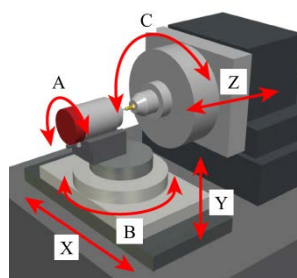


Fig. 2 Machine structure

の違いを利用して、B 軸回転中心と刃先の距離を求める。最終的には、NC プログラムを修正して、B 軸回転に伴う刃先先端の位置変化を数 μm 程度に抑えていた。

また、A, C 軸回転中心と刃先先端を一致させるためには、図 4 に示すように被削材に Y 軸に平行な溝と、X 成分を持った溝を加工し、A, C 軸を 180° 回転させてこれを繰り返す。その後、顕微鏡を用いて、溝の位置の差を計測し、その分だけ補正することで誤差を数 μm 程度に低減していた。

Z 軸の原点を合わせについては、顕微鏡を正面に設置して、その画面を観察しながら、刃先と被削材とが一致した位置を Z 軸の原点とする手法が用いられていた。さらに、A, B 軸原点の補正方法については、それぞれの軸を回転させ加工した溝の幅から誤差を算出していた。

3. 提案するセッティング誤差補正手法

本研究で提案するセッティング誤差補正手法は被削材に試し削りを行い、その加工痕から工具刃先の位置を検出する手法を応用したものである³⁾。しかし、被削材に直接試し削りを行うと、一度取り外さなければ加工痕の観察は困難であり。その場合、取り付け直した際に再度誤差が生じうる。そこで、試し削り用被削材（以下ダミーワークと称す）を用いてこの課題を解

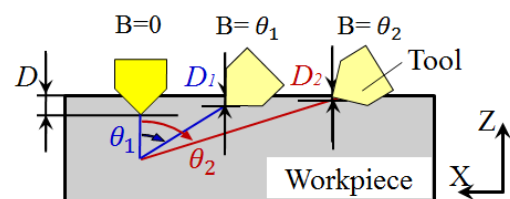


Fig. 3 Detection of setting error between cutting edge and B axis center

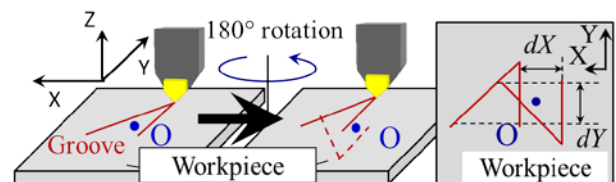


Fig. 4 Compensation of setting error between cutting edge and A, C axis center

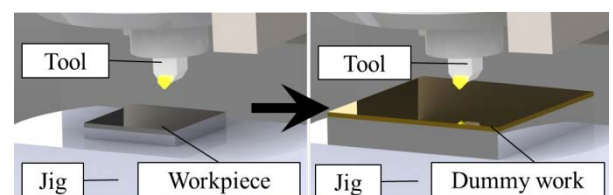


Fig. 5 Workpiece and dummy work

決した。またダミーワーク用の治具を作成し、図5に示すように被削材の上方にダミーワークを設置して、こちらに溝加工を施す。

従来手法と提案手法ではZ軸の原点合わせが大きく異なる。提案手法では、予め被削材とダミーワークの上面の相対距離を、平面出し時の機械座標より算出する。その後、ダミーワークに溝加工を行い、実際の溝深さと目標切込み深さとの差を求める。この結果を基に、相対距離を考慮して刃先位置を補正しZ軸の原点を合わせる。

セッティング誤差を補正するために、ダミーワークに加工する形状として、図6に示す形状を考案した。この形状は前章で述べた従来のセッティング誤差補正手法で加工が必要であった複数の形状を1つにまとめつつ、セッティング誤差を検出するのに十分な測定が行える形状である。図6で特に指定した回転軸の角度以外回転軸は全て0°で溝を加工する。

以上より、ダミーワークへの溝加工時の工具への負担を出来る限り抑えながら、セッティング誤差の補正に要する時間を短縮することで、超精密切削加工の高効率化を図ることができる。

4. 検証結果

図7に提案するセッティング誤差補正手法を用いた加工結果の写真を示す。ダミーワークはC2801、被削材はA5052を使用し、工具は刃先角度90°、すくい角0°、逃げ角7°の単結晶ダイヤモンド非回転工具を用いた。目標の溝深さは10 μm である。

表1に工具刃先とB軸回転中心の補正結果を示す。補正していない場合には、工具刃先とB軸回転中心が大きくずれているため、B軸を回転させると、刃先位置も大きく変化し、加工痕は観察されない。このため、B軸を回転させた場合は再度原点合わせを行って溝加工し、機械座標と溝の深さからずれを算出した。表1から、切込み深さはB軸の回転角度に関わらず目標の溝深さに近い結果となっており、従来手法と遜色ない結果となっている。また、Z軸原点合わせについては、表1のB=0の溝深さにセッティング誤差が現れており、目標溝深さの10 μm に近い値となっていることが分かる。

表2に工具刃先とA軸回転中心の補正結果を、表3には工具刃先とC軸回転中心の補正結果を示す。加工誤差のうち、X軸方向の成分をdX、Y軸方向の成分をdYとすると、補正前においては、どちらの場合も数百 μm 以上の誤差が存在するが、補正後には、このセッティング誤差が1/100以下に低減できていることが分かる。

表4にはA軸原点、B軸原点の補正結果をそれぞれ示す。セッティング誤差の両者とも補正後には1/10以下の値になっていることが分かる。

以上より、提案手法は従来手法と比較して遜色ない効果を得ることができ、再現性や工具摩耗の観点においては従来法以上であることから、提案手法の有用性が確認できた。

5. 結論

超精密6軸制御切削加工の達成のため、新たなセッティング誤差補正手法を提案し、以下の結果が得られた。

- (1) 6軸制御加工用の新たなセッティング誤差補正手法において、試し削りとしてダミーワークに加工する単純形状を考案した。
- (2) 検証実験の結果、各セッティング誤差は大幅に低減できていることを確認し、提案手法の有用性を明らかにした。

参考文献

- (1) 応用物理学会 日本光学会 光設計研究グループ:回折光学素子入門, オプトロニクス社(1998)
- (2) 園 真ら:超精密5軸制御加工におけるセッティング誤差の一般化補正手法, 精密工学会誌, 73巻, 10号, pp. 1154-1158, (2007)
- (3) 守屋貴雅ら:6軸制御両端止りマイクロ溝加工, 精密工学会誌, 73巻, 10号, pp. 1137-1141, (2007)

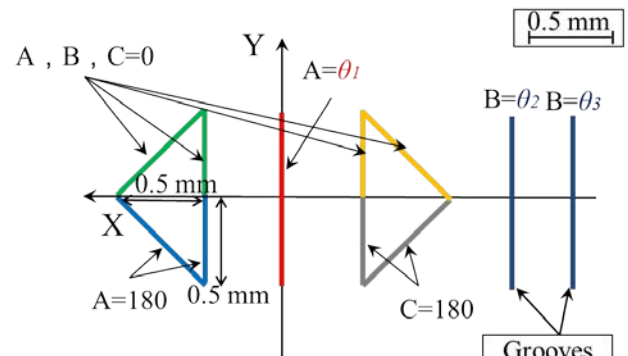
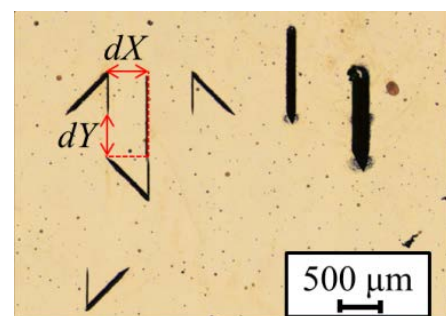
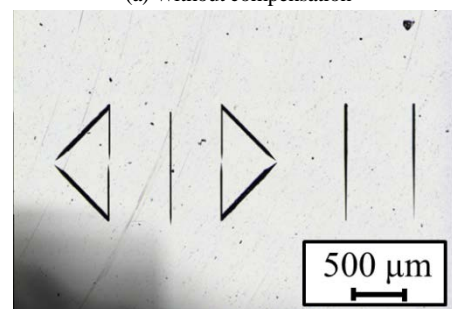


Fig. 6 Target shape



(a) Without compensation



(b) With compensation

Fig. 7 Machined results

Table 1 Measured depth of machined grooves

B axis [°]	Cutting depth [μm]	
	Without compensation	With compensation
0	14.12	6.86
-5		12.36
-10		10.11

Table 2 Setting error against A-axis center

	Distance between machined grooves [μm]	
	Without compensation	With compensation
dX	479.87	8.31
dY	499.34	29.16

Table 3 Setting error against C-axis center

	Distance between machined grooves [μm]	
	Without compensation	With compensation
dX	1243.51	5.51
dY	1808.85	12.55

Table 4 Measured error of rotational axis origin

	Error of origin [°]	
	Without compensation	With compensation
A axis	0.49714	0.08136
B axis	-0.01219	0.00871