

5 軸制御加工における工具の有効活用

オーエスジー(株) 今泉 英明

5 軸制御加工では、工具干渉の自由度が増すため、工具直径を太くしたり、突き出し長さを最小にして工具剛性を高めることができる。こうした工具を選択し活用することで、加工能率や加工精度の改善、工具寿命の延長を図ることができる。

1. はじめに

タービンブレードやインペラーなどに代表される複雑 3 次元形状の部品加工分野だけでなく、試作部品や金型加工に及ぶまで、その工程集約や短納期対応、加工コスト低減を実現する手段として、5 軸制御加工が注目されるようになった。

ここでは、切削工具メーカーの立場から見た 5 軸制御加工の優位性ならびに 5 軸制御加工における工具の活用例を紹介する。

2. 工具干渉に対する自由度の向上

複雑形状の加工を始め、3 軸制御ではアンダーカットが発生してしまう部位の加工においても、5 軸制御加工では、回転軸、傾斜軸の利用により加工物に対する工具干渉の自由度が飛躍的に広がる。このため、加工物のワンチャッキング加工が可能となるとともに、使用工具の突き出し量（アスペクト比：L/D）が著しく改善される。

例えば、干渉回避のため首下の長いロングネックタイプのエンドミルを多用して行っていた 3 次元形状加工においても、5 軸制御加工では、首部にテーパを設けたペンシルネックタイプエンドミル（写真 1）や、焼きばめ方式ホルダとの組み合わせにより、短全長のエンドミル（写真 2）を活用することが可能となる。その結果、工具剛性の向上、振れの減少を生み出し、加工能率や加工精度の改善、工具寿命の延長を図るこ



写真 1 ペンシルネックタイプボールエンドミル

とができる。また使用する工具やホルダの種類を集約することも可能となる。

ここで図 1 に、コーティング超硬のロングネックタイプボールエンドミルと、首部に勾配を設けたペンシルネックタイプボールエンドミルとで耐折損性能比較を行った試験結果を示す。

これは、それぞれのエンドミルで、切り込み深さ、ならびに回転速度一定のもと、単純直線削りで送り速度を徐々に上げて行き、工具が折損する送り速度を調査したものである。

ペンシルネックによる剛性の向上が、顕著に折損強度に反映されており、高送り加工での、その優位性ははっきりと見られる。

5 軸制御加工を有効に行うためには、ペンシルネッ



写真 2 焼きばめ対応短全長エンドミル

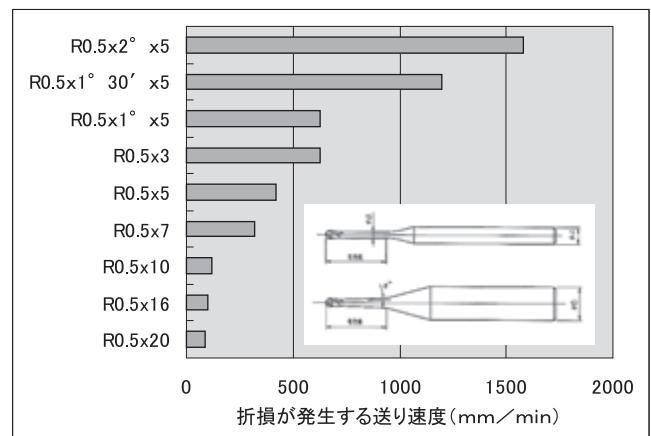


図 1 首部勾配と折損強度

クタイプエンドミルを上手く活用することが、極めて重要である。


図2には、コーティング超硬ボールエンドミルを用いて工具突き出し長さ(アクセプト比:L/D)と切削適応領域を実際に調査した結果を示す。

突き出し長さが大きくなれば、切削時に発生する曲げモーメントは増大し、びびり振動の発生領域を拡大させることとなる。5軸制御加工での接近性の改善が、


エンドミルの切削性能向上に対し、いかに効果があるかが分かる。

また干渉に対する自由度向上の付随効果としては、切削時の切りくず障害の防止などが考えられる。


例えば、ヘリカル切削で行っていた穴加工においても、図3のような加工方法をとることで、穴壁面と工具との隙間を広くとることができ、切りくず障害を防止することができる。

L/D=4 における切削領域 

切削速度	軸方向 切込み深さ	切削状況							
		○:切削音小 △:切削音中 ×:切削音大、ビビリ発生							
105m/min (3,350min ⁻¹)	3mm (0.3D)	○	○	○	○	○	○	○	○
	2mm (0.2D)	○	○	○	○	○	○	○	○
	1mm (0.1D)	○	○	○	○	○	○	○	○
220m/min (7,000min ⁻¹)	3mm (0.3D)	○	○	○	△	△	△	△	△
	2mm (0.2D)	○	○	○	○	○	○	○	○
	1mm (0.1D)	○	○	○	○	○	○	○	○
1刃当り送り量 (mm/t)		0.025	0.05	0.075	0.1	0.125	0.15	0.175	0.2

L/D=6 における切削領域 

切削速度	軸方向 切込み深さ	切削状況							
		○:切削音小 △:切削音中 ×:切削音大、ビビリ発生							
105m/min (3,350min ⁻¹)	3mm (0.3D)	○	○	○	○	○	○	○	○
	2mm (0.2D)	○	○	○	○	○	○	○	○
	1mm (0.1D)	○	○	○	○	○	○	○	○
220m/min (7,000min ⁻¹)	3mm (0.3D)	×	×	○	△	△	△	△	△
	2mm (0.2D)	×	×	○	○	○	○	○	○
	1mm (0.1D)	×	○	○	○	○	○	○	○
1刃当り送り量 (mm/t)		0.025	0.05	0.075	0.1	0.125	0.15	0.175	0.2

L/D=8 における切削領域 

切削速度	軸方向 切込み深さ	切削状況							
		○:切削音小 △:切削音中 ×:切削音大、ビビリ発生							
105m/min (3,350min ⁻¹)	3mm (0.3D)	×	×	×	×	×	×	×	×
	2mm (0.2D)	×	○	○	○	○	○	○	○
	1mm (0.1D)	○	○	○	○	○	○	○	○
220m/min (7,000min ⁻¹)	3mm (0.3D)	×	×	×	×	×	×	×	×
	2mm (0.2D)	×	×	△	折損				
	1mm (0.1D)	×	×	△	○	○	△	△	△
1刃当り送り量 (mm/t)		0.025	0.05	0.075	0.1	0.125	0.15	0.175	0.2

エンドミル : コーティング超硬エンドミル R5 2枚刃
 突き出し長さ(L/D) 40mm, 60mm, 80mm
 被削材質 : NAK55(40HRC)
 回転速度 : 3350, 7000min⁻¹
 送り量 : 0.025~0.20mm/t
 切込み深さ: aa= 1~3mm
 切削油剤 : エアブロー
 機械 : 立形マシニングセンタ(BT40)



図2 突き出し長さとの切削領域

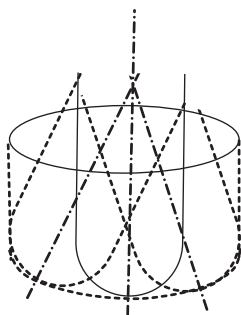


図3 ボールエンドミルでの穴加工例

3. ボールエンドミル加工での対応

自由曲面の加工に、ボールエンドミルは欠かせない工具であるが、ボールエンドミルの先端（回転中心部分）は、常に切削速度はゼロであり、回転速度をいくら上げても、この問題を避けることはできない。しかし、5軸制御加工において、工具姿勢を変更すれば、この問題も簡単に解決されるため、ボールエンドミル加工における工具寿命の延長や加工面品位の向上が図れるようになる。

特に、cBNボールエンドミルやダイヤモンドボールエンドミルでは、切削速度ゼロ部分において、工具損傷が発生しやすくなるが、この部分での切削を避けることで常に適正な切削速度での加工が可能となる。

また、脆性材の3次元形状加工においても、切削速度を一定に保つことで、加工中の脆性損傷を防ぎ、良好な加工品位が得られるようになる。

さらに、ボールエンドミルの中心部分をまったく使わず限られた範囲で加工する工具経路が実現できるのであれば、ボール中心部まで切れ刃がある必要は無くなり、工具製作において、すくい角やねじれ角など仕様選択の自由度が広がり、多刃化も容易となるため、さらなる切削性能の向上につながる可能性が十分にある。

また、加工物に対して、同一の工具姿勢で常時加工すること（図4）ができれば、工具たわみ量の変化に

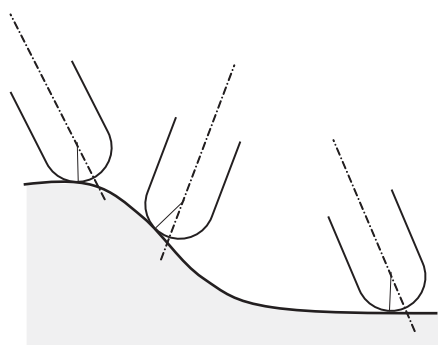


図4 加工点に対する方向性が一定の工具姿勢

よる加工部位ごとの精度変化を軽減することとなり、アスペクト比（L/D）の最適化との相乗効果で高精度加工の実現につながると考えられる。

なお、こうした5軸制御加工のメリットを十分に活かすためには、ホルダ形状も重要であり、把持力、精度、剛性の諸特性に優れた焼きばめホルダとの組み合わせが必要不可欠と言える。

4. ラジラスエンドミルの活用

緩やかな曲面加工であれば、Rの大きさに対して大きな工具外径のラジラスカッタを、図5のように傾斜して使用することで、アスペクト比（L/D）の改善に加えピックフィードを大きくできるため荒加工の高能率化を図ることができる。

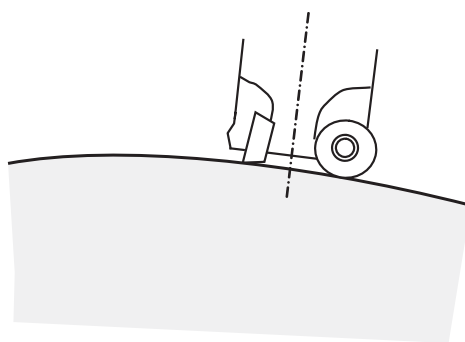


図5 大径ラジラスカッタでの荒加工

当社では、工具突き出し量（アスペクト比：L/D）が5以下の領域で、焼入れ鋼の高速、高送り加工を可能としたコーティング超硬ラジラスエンドミル（WX-CRE 写真3）も商品化している。5軸制御加工によって工具干渉が回避できることによって、そのポテンシャルが十分に活用できる。



写真3 焼入れ鋼の高速高能率加工に対応するラジラスエンドミル（WX-CRE）

また、仕上げ加工においても同様に5軸制御では、ボールエンドミルに代わってラジラスエンドミルが広範囲に活用できるようになり、加工能率の改善が図れる。

しかし、従来のラジラスエンドミルでは、そのR精度とR中心位置の精度がボールエンドミルに比べて不十分であり、仕上げ加工においてはボールエンドミルに対して加工精度に劣るといった問題があった。当社

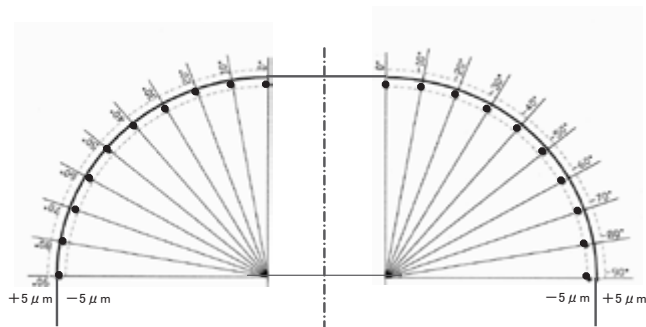


図6 高精度ラジアスエンドミル (WXS-CPR)

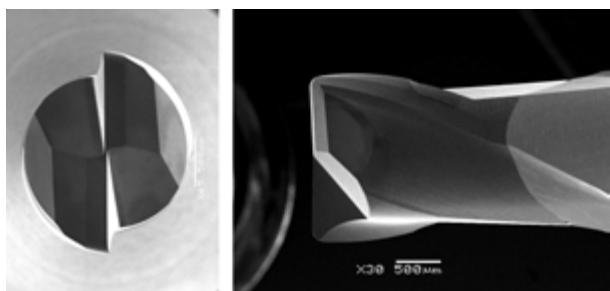


図7 スパイラル刃を持ったcBNラジアスエンドミル (CBN-SXR)

では、こうした問題を解決するために高精度ラジアス超硬エンドミルシリーズ (WXS-CPR 図6) を商品化している。本シリーズではR精度を $\pm 5 \mu\text{m}$ 以下としており、首部勾配も 5° までの範囲で揃えている。

さらにはcBNラジアスエンドミルシリーズ (CBN-SXR 図7) の対応もしている。

5. 今後の5軸制御加工における工具活用の展望

5軸制御加工では、加工物のワンチャッキング加工による工程集約や、加工物への接近性の向上による工具アスペクト比の改善が図れ、加工能率や加工精度の向上が実現できる。さらに、使用工具種類の集約や段取り時間削減、加工コストの低減にも大きな期待が持たれる。

前項では、こうした5軸制御加工をフルに活かす工具として、ペンシルネックタイプエンドミルやラジアスエンドミルなどでの対応例を紹介してきたが、5軸制御加工では、複雑形状部品のばり取り加工においても自動化、無人化を実現する。

工具も従来のような手加工で使用したばり取り専用工具ではなく、一般のエンドミルによる輪郭加工で対



写真4 アンダーカット加工にも対応するボールエンドミル (FXS-EQD)

応できる。

なお、5軸制御加工においても治具の制約などで、どうしても、アンダーカット加工を避けられない場合は、写真4のような工具と焼きばめホルダーの組み合わせにより対応をすることができる。その際においても工具突き出し長さ (アスペクト比) は最小限にすることができるため、びびり振動を抑制し、高能率で高品位な加工を可能にする。5軸制御加工でのこうした工具の活用は、ワンチャッキング加工対応の領域を極めて広範囲に展開することができる。

さらに、5軸制御加工では、これまでに紹介してきたエンドミル加工だけでなく、ヘール加工の分野でも、その適応範囲が広がり、3次元複雑形状への対応が可能となるであろう。

例えば、アルミ部品3次元形状の精密加工分野においては、単結晶ダイヤモンド製ヘール工具の活用による高精度、高品位加工などの実現にも期待が寄せられる。

オーエスジー株式会社 デザインセンター
ミリンググループ グループマネージャー
<http://www.osg.co.jp/>
〒441-1231 愛知県豊川市一宮町宮前 149
TEL 0533-93-0426 FAX 0533-93-2526