

研究ノート

曲面切削のための最適工具姿勢の検討

水野和康^{*1}、依田康宏^{*1}、稲村元則^{*2}、池上大輔^{*3}、島津達哉^{*1}

Examination of the Best Tool Posture for Curved Surface Cut

Kazuyasu MIZUNO^{*1}, Yasuhiro YODA^{*1}, Motonori INAMURA^{*2}
Daisuke Ikegami^{*3} and Tatsuya SIMAZU^{*1}Industrial Technology Division, AITEC^{*1*2} Owari Textile Reserch Center, AITEC^{*3}

同時5軸加工機等による曲面加工時の最適条件を検討するため、工具姿勢が固定された3軸加工機を用いて加工面の傾きが変動する半球状の鉄鋼材料を切削加工し、工具と加工面の傾きが加工品質に及ぼす影響を調べた。加工方法は等高線および走査線加工で、前者は形状誤差のふれ幅 $6\mu\text{m}$ 、表面粗さ $0.6\mu\text{m(Ra)}$ 程度だった。後者では形状誤差のふれ幅が $15\mu\text{m}$ でその分布にムラが見られたが、表面粗さは約 $0.4\mu\text{m}$ で表面光沢が得られた。また、エンドミル頂点から約 30° の位置での加工領域で比較的形状誤差が安定する領域が存在した。同時5軸加工機等による曲面切削では、ボールエンドミルの加工点を頂点から所定の角度に固定し、工具進行方向は考慮しないことが実用的と思われる。

1. はじめに

近年、同時5軸加工機が普及しつつあるが、従来の3軸加工機に比し、加工条件の自由度が飛躍的に増加したため、加工現場ではその最適加工条件のノウハウ蓄積が不十分で、同時5軸加工機のメリットを十分に活かした使い方ができていないことがある。本研究では工具姿勢が固定された3軸加工機を用い、5軸加工機等による曲面加工における最適加工条件を簡易に探索する方法を検討した。具体的には加工材料、使用工具（ボールエンドミル）、工具の送り速度等を固定し、工具の加工点（ボールエンドミルの頂点からの角度）と、加工点に対する工具進行方向の最適条件を見つける方法を検討した。

2. 実験方法

傾斜面をボールエンドミルで一定方向に仕上げることににより、工具の任意の加工点と進行方向に対する加工性能を評価することができる。ここで工具の移動軌跡を多角形、または円形とすることにより進行方向の評価は効率的に行うことができるが（図1）、加工点については角度の異なる試料を多数準備する必要がある。

本研究では、それらを効率的に評価するため半球形状（ $\phi 40\text{mm}$ ）を $\phi 6\text{mm}$ ボールエンドミルの走査線加工により仕上げた。また、比較のため同形状の等高線加工も行った。供試材は炭素鋼（S55C）、加工条件は鉄鋼材の一般的な仕上げ条件（表1）を用い、三次元測定機による形状誤差と触針式粗さ計による表面性状の評価を行った。

さらに、以上の実験から得られた最適条件を用いて同時5軸加工機による加工試験を行い、その効果を検証した。

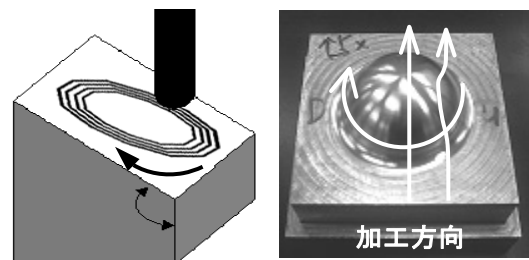


図1 加工姿勢の試験方法

表1 加工条件

回転数	8000min ⁻¹
送り速度	2000mm/min
その他	削り残し高さ一定制御、水溶性クーラント

3. 実験結果および考察

3.1 形状誤差

工具の直径誤差等を考慮し、形状誤差はXYZおよび半径方向のベストフィットを行い、そのふれ幅に注目することとした。また、評価範囲は試料の立ち上がりR部を除く球面部分とした。

図2に、形状誤差と表面粗さの評価結果を示す。等高線加工の形状誤差ふれ幅は $6\mu\text{m}$ であり、その分布は同心円状であった。これは等高線加工では常に進行方向右下方向で加工され、半球の同一高さではボールエンドミ

^{*1} 工業技術部 機械電子室 ^{*2} 工業技術部 機械電子室（現応用技術室） ^{*3} 工業技術部 機械電子室（現尾張繊維技術センター応用技術室）

ルの加工点位置が一定となるためと考えられる。形状誤差は、工具形状歪の転写、切削点における切削抵抗の違いによる工具撓みの影響などが考えられるが、ここでは原因を特定できなかった。

一方、走査線加工では形状誤差ふれ幅は $15\mu\text{m}$ で、その分布はいびつなものとなった。左側がダウンカット、右側がアップカットとなるなど、加工点に対する工具進行方向が全方位的に変化することなどがその原因と思われる。なお、等高線加工と同様、試料頂点から約 30° 付近に同心円状の形状誤差分布が見られたが、その領域内では形状誤差ふれ幅は $6\mu\text{m}$ と比較的小さかった。この領域ではある程度工具の周速を確保することができ、切削性に対する工具進行方向の影響が少なかったものと思われる。

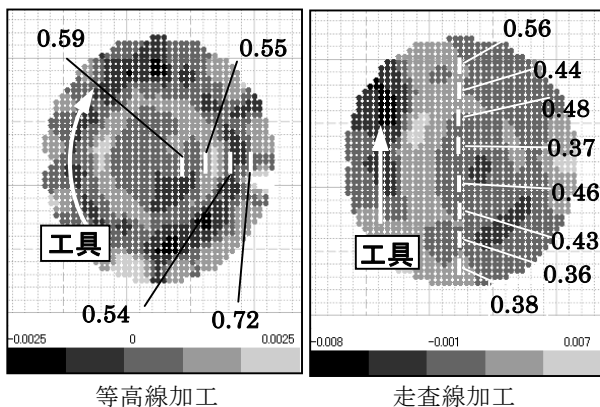


図2 形状誤差と表面粗さ(図中の数値はRa: μm)

3.2 表面粗さ

本試験では、加工軌跡が曲線状になり、粗さ測定方向と一致させるのは困難である。ここでは、両者なるべく平行になる位置と測定方向を選び、評価長さ 4mm の結果を比較したところ、等高線加工では $\text{Ra}0.55\sim0.72\mu\text{m}$ 、走査線加工では $\text{Ra}0.36\sim0.56\mu\text{m}$ となった。総じて等高線加工の粗さが大きく表面光沢も乏しかった。一般にダウンカットの粗さは大きくなる傾向があり、全面ダウンカットとなる等高線加工の粗さも大きくなったと思われるが、中緯度領域ではやや粗さが小さかった。以上の結果より、5軸加工機等で曲面切削を行う場合、加工点を工具頂点から数十度に固定し、工具進行方向は加工点に対して一定とするのが形状誤差及び表面粗さの点から最適といえる。ただし、本実験条件では加工点位置が 30° 前後であれば、工具進行方向を制限しなくても形状誤差ふれ幅を $6\mu\text{m}$ 程度に抑えられるため、実際の自由曲面加工においても、その制限をしない方がCAM(ポストプロセッサ)の制約が少なく、より実用的と思われる。また、加工点位置についてもある程度変動させた方が工具の寿命も延び、より実用的といえる。

3.3 同時5軸加工機による加工試験

以上の実験で得た最適加工条件を参考にして、同時5軸加工機による半球加工実験を行った(図3)。傾斜させた試料を回転させながら工具を一定高さで円運動させることにより、加工点は工具頂点から常に 30° に固定され、工具進行方向は試料が回転しているため加工位置により変動する。なお、この方法では試料天頂部を別条件で加工することとなり、その部分の形状誤差は大きくなっている。しかし、その他の広い領域において形状誤差ふれ幅は約 $2\mu\text{m}$ と非常に安定した精度で加工できており、粗さも $\text{Ra}0.37\mu\text{m}$ と良好であった。

実証実験は、加工姿勢が大きく変化する自由曲面を用いた上で、加工用NCデータを作成するのに要する時間、加工時間等を含んだ総合的な評価が必要であるが、当所の現有設備では実施することができず、今後の課題である。

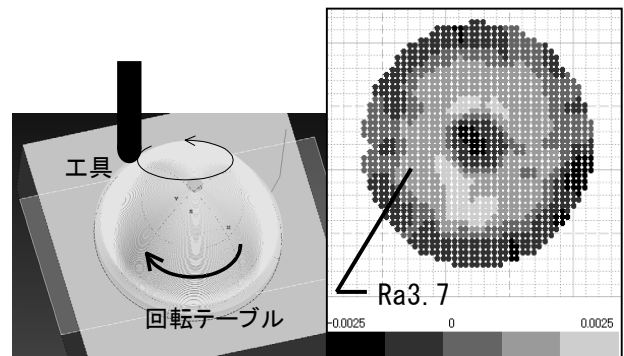


図3 同時5軸加工機による加工方法と評価結果

4. 結び

本研究の結果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) 半球形状の走査線加工で5軸加工機等による曲面切削のための最適工具姿勢を推定することができた。
- (2) 本試験条件では、加工点がボールエンドミル頂点から 30° 付近で、工具進行方向はとくに制限をつけないのが実用的な最適条件と思われる。
- (3) 上記条件を満たすよう同時5軸加工を行ったところ、条件が満たされる領域では形状誤差ふれ幅 $2\mu\text{m}$ 、 $\text{Ra}0.37$ で加工することができた。

付記

本研究は、「平成20年地域イノベーション創出共同体形成事業—三次元自由曲面加工の加工条件最適化のマニュアル作成—」のフォローアップとして実施したものである。