

3+2 軸制御加工による曲面仕上げ加工法の研究 -姿勢変更と加工面性状の関係-

函館工業高等専門学校 ○渡邊颯菜、近藤 司、山田 誠

要旨

3+2 軸制御曲面加工では、曲面の途中で切れ刃位置が変わるため、その境界領域で加工面性状が大きく変わることが予想される。本研究では、その境界付近での加工面性状の変化を緩和するための方法を提案するために、工具姿勢変更に伴う加工面性状の変化を実験的に求め、その関係を明らかにする。まず、本校の 5 軸制御工作機械を用いて、平面加工を行い、姿勢変更部分における加工面性状の変化を観察する。

1. 緒言

今日の金型加工において、ボールエンドミルを使用した 3 軸制御加工が多く用いられている。しかし、下記のような 3 つの問題点がある。

- 1)形状に依存して、工具軸近傍、切削速度ゼロ部による加工のため加工面性状が悪化する。
- 2)工具干渉回避のための被加工物の段取り作業に時間を要する。
- 3)工具ホルダの干渉回避のため、長い工具突き出しが必要となり、加工効率が低下する。

これらの問題点は、回転軸・傾斜軸を備えた 5 軸制御加工を用いて工具軸と被加工物とで傾斜をつけることで、適切な切れ刃位置で加工することができる他、工具干渉回避も実現出来るという効果がある。

しかし、5 軸制御加工では工具姿勢を変更したとき、境界部分に線(以降 工具姿勢変更線と呼ぶ)ができてしまう。工具姿勢変更線については図 1 に示す。

工具姿勢変更線を解消するため、5 軸制御加工を用いるが、『同時 5 軸制御加工』の場合は各軸の位置関係が温度変化や振動などによって数 μm の誤差が出てしまうため、工具姿勢変更線を完全に解消することは困難であると考えられる。

本研究では 5 軸制御加工の工具姿勢の自由度を活かすことができ、従来の 3 軸制御加工のノウハウを継承できる『3+2 軸制御加工』によって問題解決できると考え、本報告では工具姿勢変更線をなくすための工具姿勢と加工面性状の関係について報告する。

2. 3+2 軸制御加工の概要

5 軸制御加工は、大別すると連続的に工具姿勢を制御する『同時 5 軸制御加工』と、回転軸・傾斜軸を使用し 3 軸制御加工を行う『3+2 軸制御加工』に分類される。

『同時 5 軸制御加工』は①制御駆動軸が多いため総合的剛性を維持することが難しい、②インデックステーブル駆動軸の組付け位置誤差により、加工精度を維持することが難しい、などの問題点より、金型加工にはまだ普及していないのが現状である。

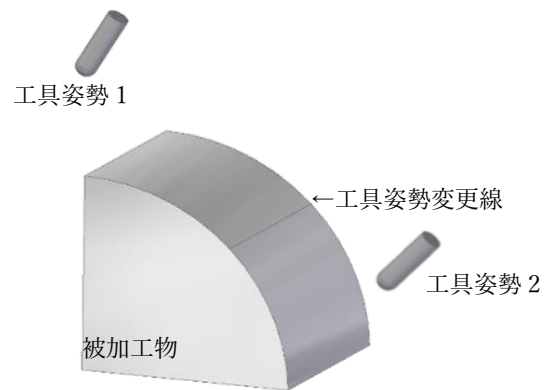


図 1. 工具姿勢変更線

一方、『3+2 軸制御加工』では、インデックステーブルまたは工具姿勢制御のために 2 軸を利用し、その軸を固定したまま他の 3 軸で加工をおこなう。そのため、①3 軸制御工作機械と同等の剛性を維持できる、②オーバーハング形状なども工具姿勢制御により干渉回避が可能、③最適切れ刃選択が可能、④3 軸制御加工のノウハウを活かすことができる、などの理由で、5 軸制御工作機械は現状の金型加工に利用されてきている。

3. 工具姿勢変更による平面加工実験

表 1. 実験条件

材料	アルミニウム (A5052)
寸法[mm]	100x100x20
工具形状	2枚刃ボールエンドミル $\phi 10$
回転数[min^{-1}]	2000
送り量[mm/刃]	0.1
切り込み量[mm]	0.5
横送り量[mm]	0.3
工具姿勢[deg]	15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60

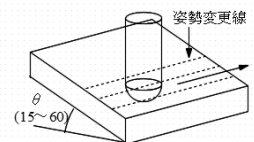


図 2. 加工方法

本実験では、本校の 5 軸制御工作機械を用いて加工する。実験条件を表 1 に実験方法を図 2 に示す。工具軸と横送り方向で作られる平面内で工具姿勢は変更する。長さ 100mm、幅 10mm 領域に対して、工具姿勢を 5[deg]ずつ傾けて、15~60[deg]まで加工する。

4. 結果

加工面全体の写真を図 3 に示す。工具姿勢 15~60[deg]まで帯状に加工面が撮影されている。目視によると姿勢変更境界部分では明らかに線がみられている。また、いくつかの工具姿勢で加工した際の加工面性状写真を図 4 に示す。20[deg]の場合は工具の横送りマークがはっきりとしていない。一方、30~40[deg]の加工面は 0.3[mm]の横送りマークが明瞭であり、送り方向のマークも見て取れる。しかしながら、その量は設定値 0.1[mm]とはなっていないことから切れ刃が片当たりをしていると考えられる。工具姿勢が 50[deg]を超えるとカッターマークが徐々に不明瞭になる。また、図 5 は工具姿勢 40[deg]の際の、横送り方向の粗さ曲線を示した。peak to peakが横送り量 0.3[mm]に相当しており、工作機械が正しく位置決めされていることが分かる。図 6 に送り方向の粗さ曲線を示した。peak to peakが 0.2[mm]と一刀当たりの送り設定値の 2 倍を示しており、片当たり状態の切削となっていることがわかる。また、最大高さ Rz・算術平均粗さ Ra を表 2 に示す。全ての工具姿勢において、式(1)で求める理論粗さより相当おおきくなっており、もっとも良好な粗さは姿勢 40[deg]の場合である。

$$\text{カブス高さ } h = \frac{f^2}{8R} \quad \dots(1)$$

工具姿勢を変更するときとしたとき(境目)の最大高さ Rz・算術平均粗さ Ra・理論粗さを表 3 に示す。表 2 と表 3 の結果に明確な違いは見られず、目視の判断を裏付けられない結果となった。

5. 結言

ボールエンドミルを使用した『3+2軸制御加工』において、工具姿勢と加工面性状の関係を調べ、以下のことを結論付ける。

- 1). 工具姿勢変更境界部と加工面性状を明らかにするため手法を示した。
- 2). 1)に従い、工具姿勢 15~60[deg]までの 10 種類の平面仕上げ実験を行った。
- 3). それぞれの、境界部分で工具姿勢変更線を確認した。
- 4). いずれの工具姿勢でも、加工面理論粗さより 10 倍程度大きく 20 μm 以上であった。
- 5). 目視では認められた工具姿勢変更線を粗さ曲線から判別することは今回できなかった。
- 6). 工具姿勢 30~45[deg]付近ではカッターマークが明瞭であり、仕上げ面性状も安定した。
- 7). 工具姿勢 15~20[deg]付近ではカッターマークが明瞭でなく、不適切な姿勢である
- 8). 今回使用したボールエンドミルの刃において 50[deg]の切れ味が極端に悪い。

今回の結果から、用いたボールエンドミル工具に関して不備があるものと考えられる。今後は工具の形状切れ刃精度の維持、および片当たりが起こらない、取り付け方法を考慮する必要がある。

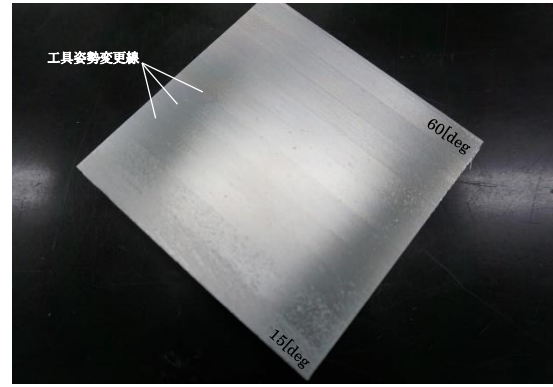


図 3.実験結果

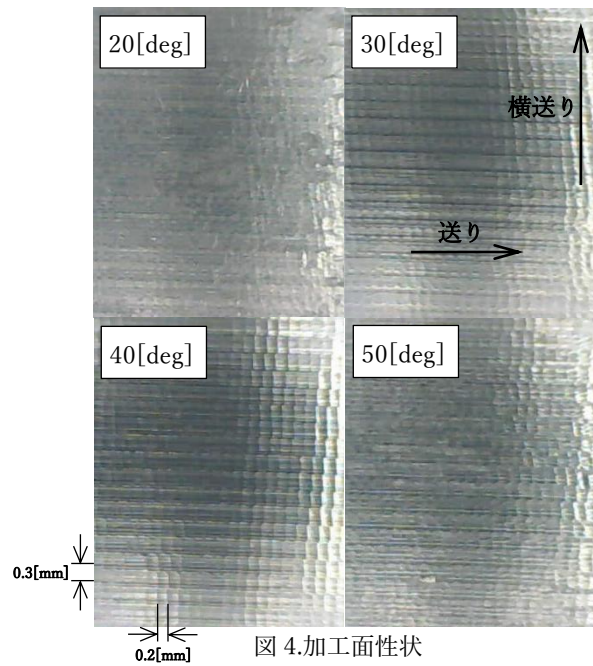


図 4.加工面性状

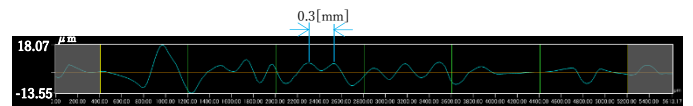


図 5.横送り方向の粗さ曲線(40[deg])

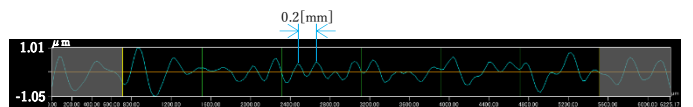


図 6.送り方向の粗さ曲線(40[deg])

表 2.工具姿勢と表面粗さ

工具姿勢[deg]	最大高さRz[μm]	算術平均粗さRa[μm]	理論粗さ[μm]
20	32.07	7.74	2.25
30	24.64	5.06	2.25
40	16.79	3.79	2.25
50	24.55	5.94	2.25

表 3.工具姿勢変更時の表面測定粗さ

工具姿勢[deg]	最大高さRz[μm]	算術平均粗さRa[μm]
20-25	29.43	7.13
30-35	23.39	4.98
40-45	13.77	2.83
50-55	28.27	6.48