

# 5 軸制御工作機械を用いた円筒面上への傾斜彫刻加工

函館工業高等専門学校 ○渡邊 将人, 山田 誠, 近藤 司  
大旺鋼球(株) 岡村 陸夫, 前田 和毅

## 要 旨

5 軸制御工作機械でボールエンドミルを用いたアクリル円筒面上への傾斜彫刻加工をする事によってボールエンドミルの欠点を克服し,加工の高速化や加工面性状の良質化が見込める. また,加工の際に発生する種々の問題を解決することでより効率的に良質な加工を行うことができる. 本実験では,5 軸制御工作機械での加工をより効率的かつ良質に行うために種々の問題点について調査を行い,それらの問題点の解決法について考察する.

### 1. 緒言

通常の3 軸制御工作機械でボールエンドミルを用いた彫刻加工を行う場合,ボールエンドミルの先端中心が加工留意点と呼ばれる送り速度ゼロの点が発生してしまう. この問題を回避するために提案されたものが「傾斜加工」[1]であり,この加工を実現するためには5 軸制御工作機械を用いることが必要である. 5 軸制御工作機械は各回転軸を用いることで3 軸では不可能な工具に傾斜をつけて加工する,ということが可能である.

この技術をアクリル円筒面へ適応させることが有用かどうかを調査する段階で加工が均質でないことや加工面の溶解といった問題が生じた. 本研究では,アクリル円筒物への傾斜彫刻加工がもたらす加工面の変化についての調査を行うとともに,その際に生ずる加工面の不均質化や溶解といった種々の問題についての研究・調査を行った.

### 2. 調査方法

本研究では,主に3 種類の調査を行った. それぞれの調査方法を以下に示す. 各調査方法における送り速度や回転数などの加工条件は異なるが,加工は同一の5 軸制御工作機械 (OKUMA MU-400VA) に直径1.5mm のボールエンドミルを取り付けて行われる. 基本的な加工方法は測定のしやすさやデータを作成しやすいことからY 軸方向の直線切削を行うこととした.

#### (1) 工具傾斜加工による加工面の良質化に関する調査

この調査ではアクリル円筒面に対して平面にフライス加工をするのと同様に掘り下げる加工を行い,傾斜角の違いによって加工面性状の変化がどうなるのかを観察する.

加工後の表面はマクロスコープ (VR-3100) を用いて加工した際の表面粗さを測定する. 評価方法として,マクロスコープによって撮影された表面粗さ解析画像のスキヤロップ高さを比較する.

#### (2) 加工面の均質化に関する調査

今回のような彫刻加工をする際には,どの加工面においても同様の条件で均質な加工を行えることが望ましい. しかし,実際に加工を行うとワークのたわみや振動などによって切り込み量が異なる加工になってしまうことがわかった. これらの問題のうち,今回はたわみについての調査を行う.

ワークの加工面の反対側にひずみゲージを取り付け,加工中にワークに対してどのような応力がかかっているのかを

測定した. また,アクションカメラを使用して加工中の動画を撮影し,たわみが確認できるか調査した.

#### (3) アクリル材料の溶解に関する調査

調査方法(1)(2)を進めていくと,ワークであるアクリル材料が溶解してしまい,図1のように加工面が悪質なものになってしまう現象が起きた.

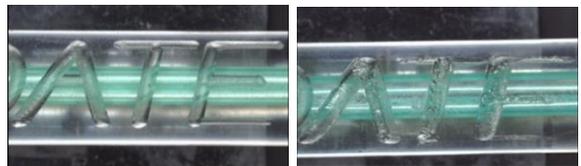


図1. 溶解が発生した加工と発生していない加工

この現象の発生条件は詳しく分かっていなかったため,この現象が発生する加工条件を特定するために,いくつかの送り速度や回転数で同形状の彫刻加工を行った.

### 3. 結果と考察

#### 3.1 工具傾斜加工による加工面の良質化について

同一の加工条件で直線切削後にマクロスコープを用いて表面の粗さを観察した結果を図2に示す.

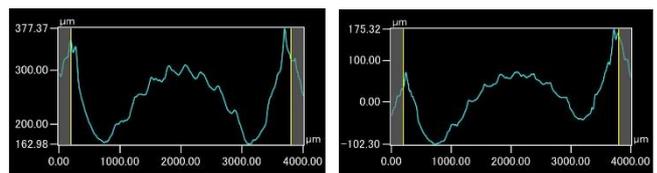


図2. 傾斜角0° (上)と10° (下)の観察結果

上記の図2のグラフ部分で山状になっている部分が加工した円筒面であり,複数の凹凸がみられる. その凹凸がスキヤロップに相当しその大きさがスキヤロップ高さになる. 0°と10°のスキヤロップ部分を比較してみると10°の傾斜で加工した際には0°に比べてスキヤロップの大きさが小さい. よって傾斜させて加工を行うことで加工面性状の良質化ができることが確認された.

#### 3.2 加工面の均質化について

本論文内では加工条件を{回転数[rpm], 送り速度[mm/min]}のように記載する. 加工条件{6000, 1000}, 直線切削を33mm行った際の表面測定結果を図3に, 応力変化を図4に示す.

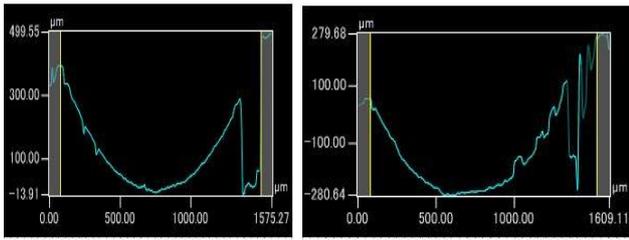


図3. 測定断面曲線(削りはじめと削り終わり)

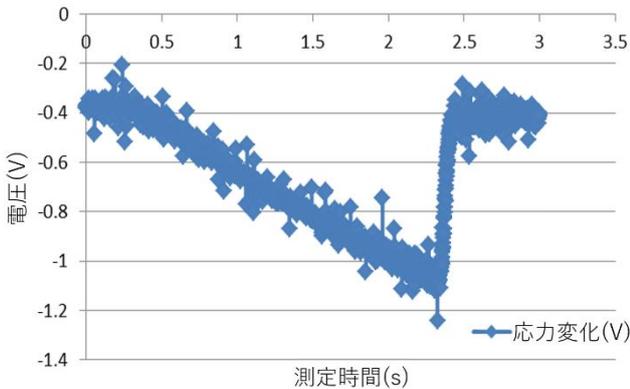


図4. 直線切削時の応力変化

図3を見ると、綺麗な曲線に近いグラフになるはずが、そうはなっていないため正確な測定がなされていない。これは本来測定できない透明なワークに対して処理を加えて測定をしているためである。しかし、今回必要なデータは取れているのでこの測定結果を評価対象とした。削りはじめは、約0.324mm、終わりは約0.300mmの高低差があり、差は0.024mm生じている。裏付として図4では、時間が進むごとに電圧が増化していることから、被削材にかかる力が変化していることがわかる。アクションカメラを見てみると、わずかだがたわみの発生を確認できる。このことから被削材が、同一条件のもと加工できていないことが確認できる。また、送りを小さくすると、応力電圧の変化は全体的に小さくなることが確認された。また加工条件{3000, 2000}, 一回転当たりの送り量が0.667mmと大きい加工をした結果、とても切削面が浅い加工になってしまった。これより1回転当たりの送り量が多すぎると、切削が間に合わないことも確認できた。そのほか、傾斜角をかけることで、たわみの発生を多少抑えることができた。

### 3.3 アクリル材料の溶解について

送り速度と回転数の組み合わせを変更しながら行った加工の溶解状況を図5に示す。

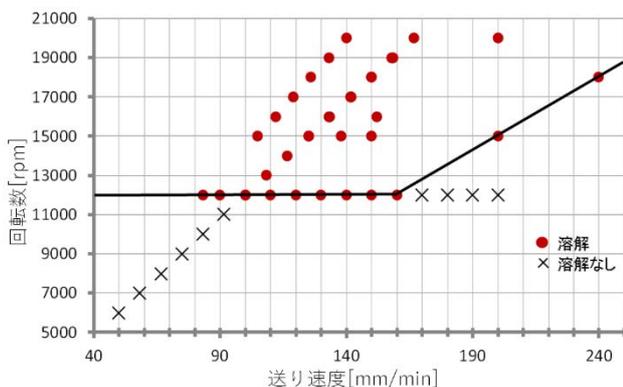


図5. 溶解状況の散布図

このグラフより12000[rpm]以下での溶解は確認されなかった。また、グラフより確認された溶解しない加工条件{12000, 170}というものは1回転当たりの送り量が0.16[mm/rev]である。同様に1回転当たりの送り量0.16[mm/rev]で回転数15000[rpm], 18000[rpm]での切削を行った結果、溶解を確認した。このことから、グラフ中の実線が溶解する境界線なのではないか、という仮説を立てた。この仮説についてはまだデータが不十分であり、1回転当たりの送り量0.16[mm/rev]で12000[rpm]以上の回転数での切削を行い、溶解することを確認し、1回転当たりの送り量が0.17[mm/rev]以上で切削を行い、溶解しないことが確認できれば、この仮説を立証することができる。

また、今回の実験を開始する前の時点でC軸を使用した加工をする際には加工時間を多く要することが確認されていた。そのためC軸介入時の送り速度の低下率を測定したところ、約1/12遅くなっていることが分かった。このことから今回起きた溶解はC軸介入による送り速度の低下も原因にあるということが言える。この問題を解決するために、加工データ上でC軸が介入する際に送り速度を早くするようにデータを作成したところ、図6のように溶解を抑えることに成功した。

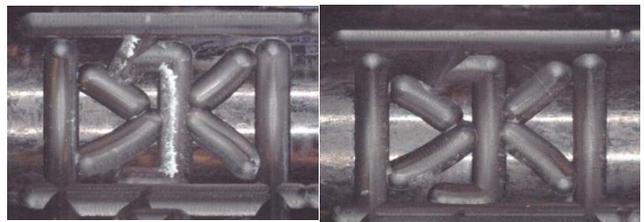


図6. C軸介入時の送り速度改善前(左)後(右)

## 4. 結言

今回、アクリル表面への彫刻加工において、表面粗さやたわみの発生などの加工時の問題点について調査し、それに対する傾斜加工に関する実験を行った。以下に結論を示す。

- (1) 傾斜彫刻加工を行うことで傾斜していない場合よりも良好な加工面性状が得られることが確認された。
- (2) 彫刻加工をした際に切込深さに変化が生じてしまう問題は、工具の押し付け力によるたわみが主な原因であることが確認された。
- (3) 通常の彫刻加工の際に発生する溶解は、C軸介入時の送り速度低下によるものであることが確認された。

これらの結論より、(2)で述べたたわみの発生を完全に抑制することは困難であるため、均一な切り込み量を確保するためには、たわみ量を予測した制御システムが必要であり、今後の検討課題とする。

## 参考文献

- [1] 山田誠, 田中文基, 近藤司, 岸浪健史: 5軸NC工作機械による主軸傾斜曲面加工法に関する研究(第3報), 精密工学会誌, Vol. 73, No. 5 (2007), P563-567
- [2] 黒田基文, 江川庸夫, 渡部健, 是田規之: ボールエンドミル加工の表面粗さ改善, 三菱重工技報, Vol. 33, No. 4 (1996-7) P. 286-289
- [3] 嶋田祐太, 山田誠: ボールエンドミルを用いた同時五軸高速曲面加工に関する研究, 函館工業高等専門学校卒業論文 (2012)