

多品種少量生産に適した 数値制御チューブ逐次成形技術の開発

松原 茂夫*

1. 緒言

多品種少量生産のためにフレキシブルな成形法が求められている¹⁾。本研究においては塑性加工と金型製作で関係が深い切削用工作機械を成形に用い、一つの汎用工具で逐次成形を繰り返して目標とする形状を得る成形システムを開発した。

円錐工具を用いるプレス成形法が詳しく研究され、円錐工具を用いた揺動回転による絞りを行う方法が開発されている円管の口絞りや口広げを例にとり²⁻⁴⁾、本システムを検討した。その結果軸対称形状ばかりでなく、非軸対称形状へ成形することができることもわかった。

これからの成形のための工具の駆動に必要なNCプログラムを創成できるコンピュータプログラムも開発した。

2. 加工方法

2.1 概要

本システムはNC工作機械のもつ運動の多様性と精度を活用することにより、専用工具の省略と種々の形状の成形を実現することをめざすものである。具体的な加工方法はNC装置によって工具、および被加工材を運動させ逐次成形を繰り返し目的とする形状を得るものである。使用した工作機械は数値制御(NC)フライス盤である。この機械の場合工具はz軸方向にのみ運動し、被加工材がxy面上で運動を行う。軸対称成形の場合には、被加工材を中心にこの運動を見れば工具は材料のまわりの円軌道上を公転しながら自転する

ことになる。これに対し被加工材の中心を中心とする剛体回転運動を重ね合わせれば、自転する材料に対してローラーが従動するスピニングの加工形式に対応するものと解釈できよう。

2.2 工具経路

a 円錐口絞りに対する経路

図1に示すように、製品の円錐半角 θ に合わせて逐次工程を進める($i = 1, 2, \dots$, 法線ピッチ P_v)。工具は成形工程 i の点 j において被加工材の中心軸を中心とする円運動を行い、ピッチ p_e (接線ピッチ)で $j = 1, 2, \dots$ のように成形を繰り返す。成形の都合からは螺旋状の経路を与えることが望ましいが、そのための簡単な命令がないので微小距離間を直線補間することになると、NCプログラムのブロック数が多くなりすぎる。そのため j から $j+1$ へ移動する三つの方法

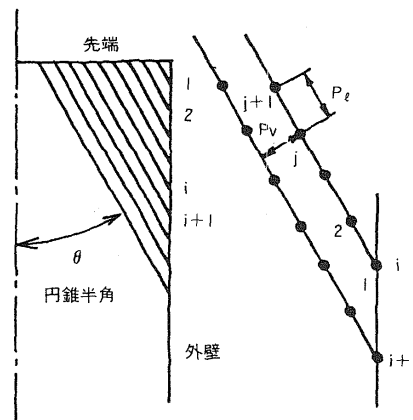


図1 円錐台口絞りにおける成形の進め方

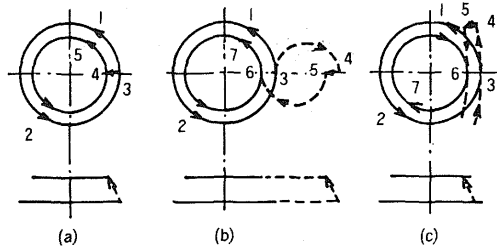


図2 アプローチ及びリリーフの方法

を考慮した(図2)。これらはいずれも少数の円弧補間および直線補間命令で構成できる。(a)は円錐の母線方向へ直接移動するもので、工具経路は最も短いがバナーニッシュが起きるとされる。(b)では工具は材料と離れたところで高さ方向に移動し、リリーフとアプローチにおいて円弧運動を行う。これは切削において製品表面状態を悪化させないために通常用いられるものである。(c)は(b)と類似しているがアプローチとリリーフの円弧の中心が材料側にある点が異なる。

ピッチ p_e の値としては、円管外半径および中心における値を指定して、その間を一次補間することができる。

なおこれらの経路に対応する NC プログラム作成所要時間は数分以内の程度である。NC プログラムファイルの大きさは60K バイト以下であった。

b 円錐口広げに対する経路

円錐口広げ製品を得るための工具経路として、円錐口絞りの場合と類似の一定角度成形経路、および、一定角度増分ずつ角度を増大しつつ目標とする円錐半角まで口広げする角度増大口広げ経路(図3)を用いた。

c 多角形成形に対する経路

多角形への成形における工具の経路として

- (a) 素材円管から直接多角形錘台へ成形する経路
- (b) 一旦製品形状に外接、または、内接する円錐

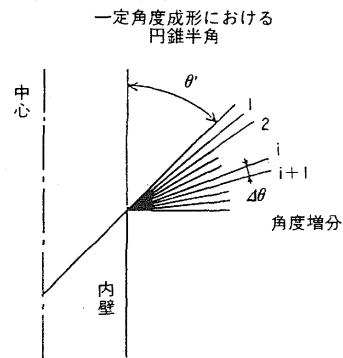


図3 口広げ成形における角度増大成形法

台を成形し、その後多角形錘台を得るものの二つを考えた。

3. システムの概要

本成形システムのハードウェアは数値制御工作機械、工具、治具から成る。

ソフトウェアシステムは16ビットパーソナルコンピュータを中心にして構成されている。ソフトウェアはC言語を用いて開発した以下の三つのプログラムから成り立つ。プログラム pg は、素材及び製品の形状、成形条件を規定する数個のパラメータから工具の運動軌跡を計算し、NCプログラムを作成するものである。なお本プログラムは自動工具交換が可能なマシニングセンタにも対応できる。工具軌跡の長さ、成形所要時間の計算もできる。

ファイル pc は NC プログラムをチェックする機能をもつものである。工具軌跡をグラフィックディスプレイに表示できる。不具合な箇所があれば内臓エディタによって修正ができる。工作機械や治具に依存して部分の修正、追加なども可能である。

dnc は NC プログラムを通信回線(RS232C)により数値制御装置へ送付するものである。あるいは運転を実行しつつ逐次 NC プログラムを供給する DNC(Direct Numerical Control) も可能である。

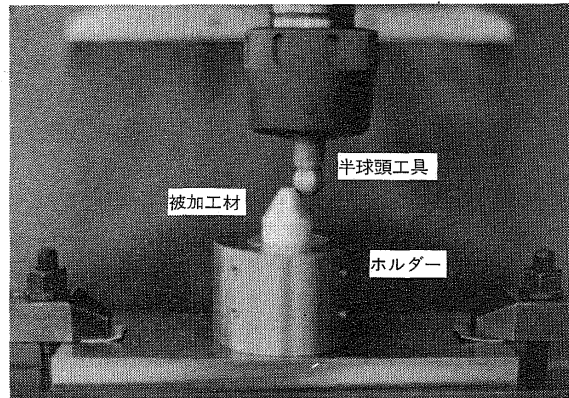


図4 実験装置の例

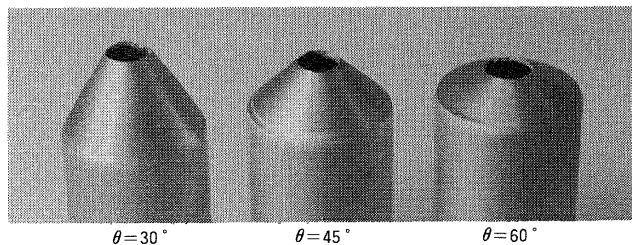


図5 円錐台口絞り製品の例
(口絞り率約70%, $p_v = 1 \text{ mm}$, $p_\ell = 1 \text{ mm}$)

4. 実験方法

被加工材料は工業用純アルミニウム(JIS A 1050)管である。その外径は30mm、肉厚は1mmであり、ビッカース硬さは約HV40である。熱処理は行わず納入状態で使用した。試験片の端面は切削によって仕上げ、長さは80~90mmとした。試験片のホルダーから突き出た部分の長さは標準で40mmである。

工具は先端が半球状で、その直径は口絞りに対して19.8mm、口広げに対しては12mmである。

工作機械としてNCフライス盤を用いた。工具の送り速度は1000mm/minを標準とした。一部の成形に対して600~2000mm/minの範囲の種々の速度を試みたが、結果に相違は見られなかった。工具は正転、逆転、従動いずれも可能であるが、実験においては従動を選んだ。図4に装置の例を示す。

深絞り用油を潤滑剤として用い、工具および円管表面に塗布した。

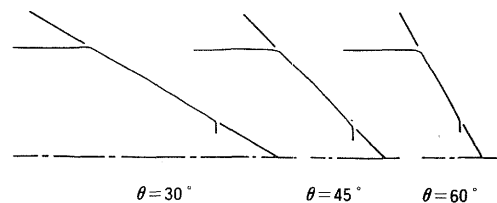


図6 輪郭形状
(口絞り率約70%, $p_v = 1 \text{ mm}$, $p_\ell = 1 \text{ mm}$)

5. 円錐台の成形

5.1 形状

法線ピッチ $p_v = 1 \text{ mm}$ 、接線ピッチ $p_\ell = 1 \text{ mm}$ で円錐台に口絞りした製品の例を図5に示す。口絞り率は約70%である。

形状測定器によって製品の子午線方向に測定した円管部も含めた形状を図6に示す。円錐部はほぼ正確な角度に成形されている。拡大して観察すると円錐台基部では工具に接触しないところわずかに変形が及んでいることがわかった。

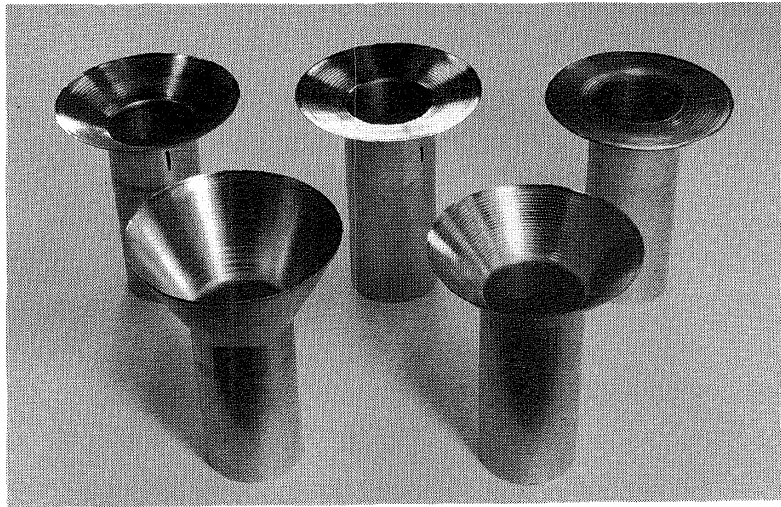


図7 円錐口広げ製品の例
(口広げ率約100%,円錐半角 $\theta = 30 \sim 90^\circ$)

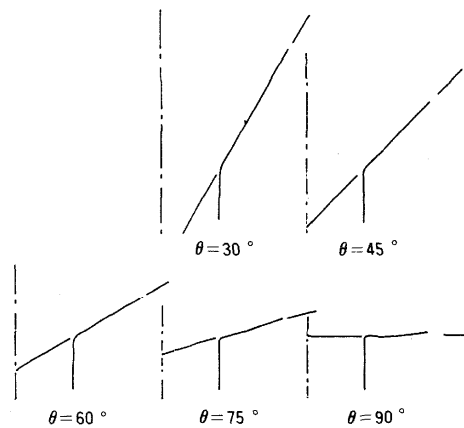


図8 内側輪郭形状(円錐口広げ率約100%)

法線ピッチ $p_v = 1 \text{ mm}$ 、接線ピッチ $p_e = 1 \text{ mm}$ で円錐口広げした製品の例を図7に示す。口広げ率は約100%である。ただし円錐半角 θ が $15^\circ \sim 60^\circ$ のものは一定角度口広げにより、 75° 及び 90° のものは一定角度(45°)口広げの後角度増大させて成形した。

形状測定器によって製品の内側を子午線方向に測定した円管部も含めた形状を図8に示す。円錐部はほぼ正確な角度に成形されている。拡大して観察すると円錐基部及び先端部で丸味がつくことがわかった。

5.2 成形限界

円錐口絞りの場合の成形の可否は工具のピッチによって支配される。法線ピッチおよび接線ピッチを等しく選ぶと $\theta = 30^\circ$ では 2 mm 以下で、 $\theta = 45^\circ$ および 60° ではそれぞれ 1.5 mm および 1 mm 以下で成形可能であった。ピッチが小さければ実験を行った $\theta = 30^\circ$ から 60° の範囲で完全に口を閉じるまで成形することができた。

円錐口広げの場合、法線ピッチおよび接線ピッチを 1 mm とすると $\theta = 45^\circ$ では口広げ率120%、 60° では126%まで成形してもなお破断せず、実

験範囲内で成形限界を見出すことができなかつた。実験で用いた材料の一様伸びは非常に小さいと思われるが、逐次成形法ではこのよな材料でも大きな変形を与えることが可能である。

5.3 材料加工高さと工具軌跡全長の関係

円錐半角 θ が小さいときには口絞りでも口広げても、製品円錐台部の高さは素材加工高さと同様であるが、 θ が大きくなるとかなり小さくなる。当初においては素材高さのレベルまで工具を運動させたが、製品高さより上の工具経路が無駄になる。そこで所要成形時間の短縮のためこれを削除した経路を生成できるように改善した。この場合の材料加工高さ H と工具軌跡全長 L の関係を図9および図10に示す。ただし法線ピッチ P_v および接線ピッチ P_t をともに1mmとした。ピッチが異なる場合の軌跡全長は図の値を $(P_v \times P_t)$ によって割れば近似できる。

6. 正多角形錐台の成形

工具を直接正多角形状に駆動する口絞り成形法では、四角錐台の場合にはコーナ部で切断が、八角錐台では周方向に座屈がおきて、いずれも成形不可能であった。これは、この経路においては材料に周方向のひずみを与えることが難しいことによるものである。

このため最初に円錐絞りをを行い、次いで正多角形錐へと口絞り成形を進める法案によって成形を試み成功した。

図11に多角形錐台に口絞りした製品の例を示す($\theta = 45^\circ$)。先端対辺幅を用いて計算した口絞

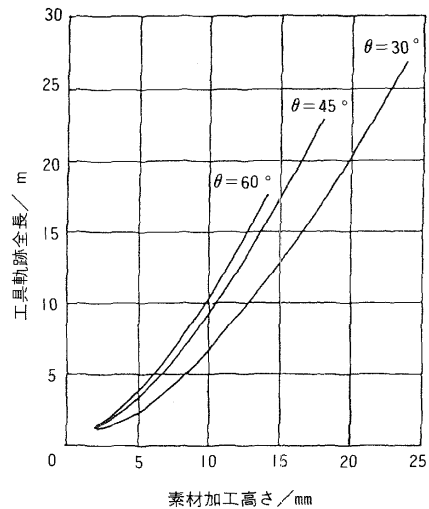


図9 素材加工高さ H と工具軌跡全長 L の関係
(円錐台口絞り、 $P_v = P_t = 1$ mm)

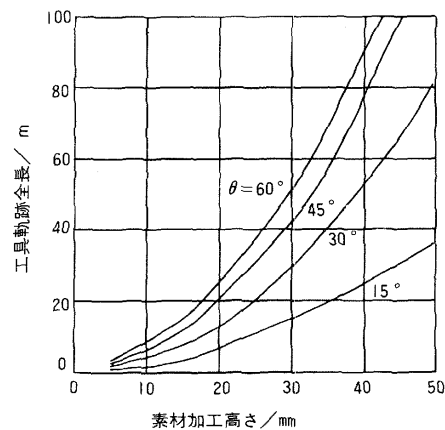


図10 素材加工高さ H と工具軌跡全長 L の関係
(円錐口広げ、一定角度成形、 $P_v = P_t = 1$ mm)

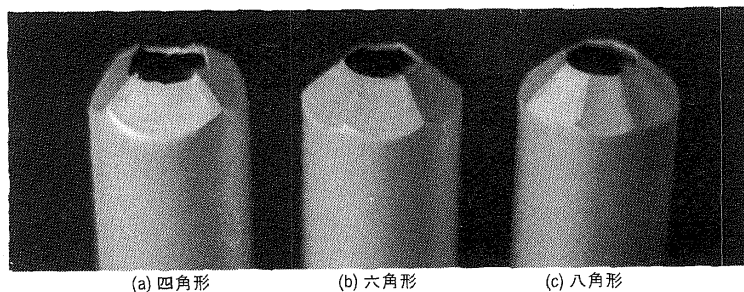


図11 多角形錐台口絞り製品の例(二段階成形法による)
($\theta = 45^\circ$, $p_v = 1$ mm, $p_t = 1$ mm)

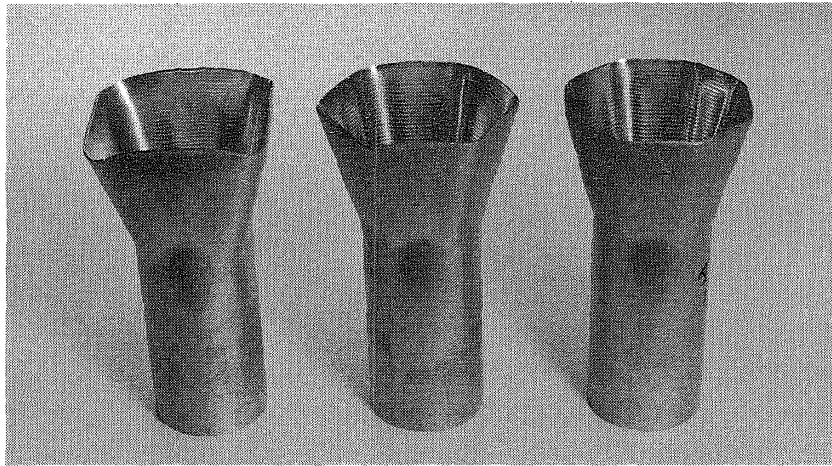


図12 多角形錐口広げ製品の例($\theta=15^\circ$)

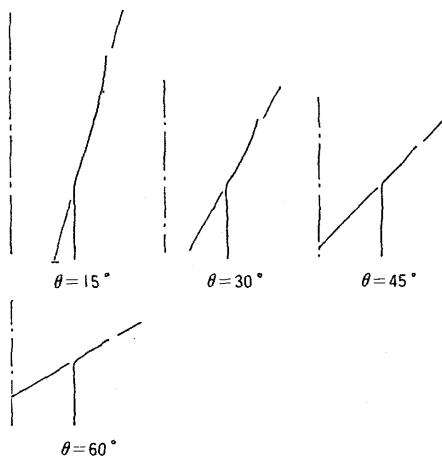


図13 口広げ製品の内側輪郭形状の例
(四角錐、側面中央部長手方向)

り率は約55%である。 $\theta=30^\circ$ および 60° でも成形可能であった。

正多角形錐口広げ成形においては内接する円錐台への成形(口広げ率約50%)の後に、多角形錐台への工程を5回加えた。図12に多角形錐(四角錐、六角錐、八角錐)に口広げした製品の例(対面半角 $\theta=15^\circ$)を示す。 $\theta=30^\circ$ 、 45° および 60° でも成形可能であったが、四角錐で $\theta=15^\circ$ の場合のみコーナー部で小さな割れが生じた。

正多角形錐の対面のなす角は、円錐の場合と比べると幾らか悪かった。(図13)。

7. 結言

切削用数値制御工作機械を利用した逐次成形システムを構築し、工業用純アルミニウム円管の口絞り、および、口広げ加工を行った。その結果以下のことがらを見出した。

[全般]

(1) 一つの汎用工具(半球頭工具)により種々の形状に成形可能である。

(2) 実用的数値制御工作機械を使用するので、数値制御プログラムを作成するだけで直ちに成形を行うことができる。開発したコンピュータプログラムにより少数の初期データを入力するだけで数値制御プログラムを製作できる。

(3) 加工度が高くなると成形に要する時間が急激に増大する問題がある。より能率の高い工具経路を検討するべきであろう。

[口絞り成形]

(1) 円錐半角の広い範囲で口絞り成形が可能である。

(2) 工具経路条件を適切に選ぶことにより、100%に近い口絞り率を得ることができる。

(3) 軸対称成形だけでなく、異形状(正多角形錐)口絞りを可能とする工具経路を開発した。

[口広げ成形]

(1) 円錐半角の広い範囲($15^\circ \sim 90^\circ$)で成形

可能である。

(2) 引張り試験における伸びの小さな材料でも、工具経路条件を適切に選ぶことにより、100%を越える口広げ率を得ることができる。

(3) 軸対称成形だけでなく、異形状（正多角形錘）口広げを可能とする工具経路を開発した。

謝辞

本研究を行うにあたって使用した一部の機器は天田金属加工機械技術振興財団から受けた研究助成によるものであることを記し、謝意を表します。

参考文献

- 1) 井関・加藤・坂本：平3 塑加春 (1991), 641 .
- 2) 宮川・朴：塑性と加工, 3-17 (1962), 397 .
- 3) 真鍋・西村：同上, 23-255 (1982), 335 .
- 4) 北澤・小林・丸野：同上, 29-330 (1988), 767 .