口絞り部品の数値制御スピニング加工技術の開発

高石 和年*

Development of Numerical Control Spinning Technology
for Manufacturing an Axisymmetric Cup with Necked Edges

Kazutoshi TAKAISHI*

(Received on March 12, 2009)

A method of manufacturing an axisymmetric cup with necked edges from an aluminum flat sheet metal by the numerical controlled spinning technique is presented. The first step entails forming a cup-shaped blank along the surface of a die from a flat circular sheet metal by numerical control spinning. The second step entails necking the opening edge of the cup-shaped blank without a die. Suitable conditions for the spinning processes without causing any defects, such as wall fractures and wrinkling, are sought and examined. The process conditions, which include the roll path configuration, the feed velocity of the roll and the revolution speed of the spinning machine spindle, are optimized for successful production. The findings confirm that the numerical controlled necking technique without a die enables us to manufacture necked cups with adequate accuracy and to use the data in the manufacture of other similar products.

Key words: rotary forming, spinning, workability, necking, numerical control, fracture, wrinkling.

1. 緒言

スピニング加工,あるいはへら絞り加工は軸対称容器の多品種少量生産に最適な加工方法である。へら絞り加工は,絞り技能者の勘と経験に基づく腕前に,その加工の成否を依存している。しかも,熟練技能者が加工ノウハウを経験として保有するため,その加工条件の詳細は把握しにくく,加工データを技術として,部外者に理解できるように蓄積するのが難しいという問題がある。

近年,数値制御スピニング加工機が開発され,条件設定等の操作がパソコンを用いて容易に入力編集することが可能となった。数値制御化されたスピニング加工は新たな塑性加工技術として生まれ変わってきている。

スピニング加工の加工事例や加工の成功する条件設定については,書籍が発刊され,加工技術,加工ノウハウの詳細が公開されている^{1)~6)}。しかしながら,ある部品形状が与えられた場合,その部品生産のためのスピニング加工条件の設定判断は,依然として経験に依る所が多く,具体的な加工事例の一層の集積が望まれている。NCスピニング加工によれば,設定した各種加工条件を電子データとして蓄積保管でき,データベースを構築することにより,類似した部品の生産にそのデータを生かすことができる⁷⁾。

本報では,両端を絞り加工された部品について,第2工程の口絞り加工において,金型を使用せずに,スピニング加工により良好に絞り加工することができた部品の事例を報告する。

2. 実験条件および方法

2.1 加工装置

加工装置は,既報¹⁾と同様に,CNCスピニングマシン(日本スピンドル製造株式会社製,推力:軸方向19600N,径方向14709N,主軸最大回転数:1500rpm,加工ロール送り速度最大6000mm/min)を使用した。加工用ロールは,直径 ϕ 140mm,厚み方向コーナー丸み半径 ρ を12mmに設計し,合金工具鋼SKD11を材料として製作し,硬度60HRCに焼入れ焼戻した後研削で仕上げ加工した。ロールの先端丸み半径は,加工の成否に大きな影響を及ぼすパラメータである。丸み半径は大き目の方が破断が発生しにくく,大きすぎると逆にしわが発生しやすくなる³⁾。ここでは,文献3)に記載されているデータを参考にして,寸法を決定した。

2.2 加工対象と実験方法

本報では,Fig. 1に示す両端が絞られた軸対称部品を加工した。被加工材料は,工業用純アルミニウムA1050の1/2硬質材で板厚は3mmである。絞り部分の公差は,最外周の径が $\pm 0.3\text{mm}$ を,表面粗さはRaで $3\mu\text{m}$ 以下を要求されている。

この部品は両端が絞られているため,各端部を絞り加工

*東芝ジーエタービンコンポーネンツ(株) 〒230-0045 横浜市鶴見区末広町1-9
Toshiba GE Turbine Components Co., Ltd., 1-9 Suehiro-cho, Tsurumiku, Yokohama
Kanagawa 230-0045, Japan.

する2工程以上の加工工程が必要で、それぞれの工程用に必要な金型や工具を製作した。Table 1 に被加工材料の機械的性質を示す。

Fig. 1 Axisymmetric cup with necked edges manufactured by spinning (required thickness: more than 2mm)

Table 1 Mechanical properties of work material

Work material	A1050
Thickness t /mm	3.0
Yield strength σ_Y /MPa	90
Tensile strength σ_B /MPa	100
Elongation δ /%	12

3. 実験結果および考察

3.1 加工工程の詳細

本部品加工工程は、円筒端部 A の加工を行う第 1 工程と、円筒端部 B の口絞り加工を行う第 2 工程とからなる。

Fig. 2 に第 1 工程での金型、ロール、バイトなどの配置を示す。第 1 工程は、①円形のプランク取り、②ロール 1 による多サイクル絞り、③ロール 2 による端部平坦出し、④ロール 1 による仕上げ絞り、⑤切削による端部トリミング、⑥切削による端部穴開けの 6 工程よりなる。

円筒端部 A の加工は、まずロール 1 により多サイクル絞りで素材を製品の大まかな形状まで徐々に変形させる。次いでテールストック側の端部が外側に膨れるため、別のロール 2 で端部の平坦出しを行う。その後、ロール 1 をほぼ金型に沿って移動させる仕上げ絞りによって、材料を主軸に結合される金型に密着させて成形し、所要の精度と面粗さを得る。型材は SKD11 で硬度 60HRC に熱処理した。素材プランクの直径は $\phi 305\text{mm}$ とした。絞り比は 1.8 となる。

スピニング加工の成形性の限界は、しわと破断で決まる。生産性を低下させずに、しわと破断が発生しない加工条件を設定できるかどうかポイントである。この加工限界を律するパラメータとして重要なものは、1)加工ロールパスの形状、2)加工ロールの移動繰返し回数、3)加工ロールの送り速度、4)主軸回転数などである。葉山らは、これらの条件を一般的形状に対し決定することを試みている⁸⁾。しかしながら、定量性の点では十分でなく、加工形状や材料が変われば、上記加工条件の詳細な検討が必要である。

Table 2 に設定した第 1 工程での加工ロールの送り速度と

主軸回転数を示す。しわ発生を抑えるため、条件を途中で変化させている。Fig. 3 に第 1 工程での多サイクル絞りのパス形状を示す。パス数は 22 である。しわの発生を抑制するためにパス数を多めに設定している。この多サイクル絞りでは、パスの最初から材料を真横に倒す必要が無く、しごきを加えるようなパスではなく、材料を徐々に斜めに

Fig. 2 Die and tooling configuration for first spinning process

Table 2 Conditions of first spinning process

First spinning process	Roll pass	Feed velocity of roll (Feed rate) /mm/min	Revolution of main spindle /rpm
Multi-cycle spinning 22 pass	First pass	500	700
	Intermediate pass	1000	700
	Final pass	1800	700
Finish spinning 1 pass	Initial	100	300
	Intermediate → final	190 → 500	600

Fig. 3 Multi-cycle spinning roll pass for first process spinning

Fig. 4 Die and tooling configuration for second spinning process

倒していくパスとした。

Fig. 4 に、第 2 工程での金型、ロール、バイトなどの配置を示す。通常の口絞り加工では、内側に割り型や偏心型を配設し、部品の完成後に型を取り外す。しかし、このような型は一般に複雑な構造となり、重量も重くコスト高となる。そこで、本報では材料の板厚が厚く剛性が高いことを利用して、材料を押さえる固定型とマンドレルだけを製作し口絞り加工を行った。すなわち、部品形状に倣う金型は製作しなかった。金型が無くとも、下記に示す条件設定により、しわや破断の発生無く美麗に口絞りが可能であった。固定型は、部品の成形後取り外せる構造としている。

Table 3 に、設定した第 2 工程での加工ロールの送り速度と主軸回転数を示す。しわと破断の発生を押さえるため、条件を途中で変化させている。Fig. 5 に第 2 工程での多サイクル絞りのパス形状を示す。パス数は 21 である。しわの発生を抑制するためにパス数を多めに設定している。この多サイクル絞りでは、製品寸法からパス形状を定め、材料を徐々に内側に倒していくパスとした。絞り加工後、切削により端部穴の仕上げ加工を行う。

3.2 加工部品の精度

Fig. 6 に、第 1 工程加工後と第 2 工程加工後の絞り部品の概観写真を示す。いずれも美麗に加工できていることがわかる。Fig. 7 に、仕上げ絞り後の製品の板厚と面粗さ(Ra)の分布を示す。いずれも製品仕様を満足し、良好に生産をすることができた。

4. 結 言

- 1) 両端部を口絞り加工する必要がある軸対称絞り部品を、NC スピニング加工で製造する技術確立し、その事例を紹介した。
- 2) 第 2 工程の口絞り加工において、従来複雑な割り型あるいは偏心型を必要とした部品を、金型無しで安価に加工できる条件を見出し、その条件を明らかにした。
- 3) スピニング加工工程の製造コスト削減ができた。
- 4) スピニング加工の新たな事例を積み重ねることができた。
- 5) スピニング加工の技術開発は、依然として経験力に強く依存している。更なる一層の事例収集と、技術の体系化が望まれる。

参 考 文 献

- 1) 高石和年・大澤紀美夫・山田貴之：塑性と加工，45—516(2004)，55-59。
- 2) 葉山益次郎：回転塑性加工学，(1981)，近代編集社。
- 3) 日本塑性加工学会編：スピニング加工技術，(1984)，日刊工業新聞社。
- 4) 日本塑性加工学会編：塑性加工技術シリーズ 11 回転加工—転造とスピニング—，(1990)，コロナ社。
- 5) 葉山益次郎：新回転加工，(1992)，近代編集社。
- 6) 村田眞・牟田玲子：塑性と加工，42—481(2001)，124-128。
- 7) 川井謙一・澤野清輝・伊藤浩之：同上，30—345(1989)，1411-1415。
- 8) 葉山益次郎・工藤洋明・村田崇彦：同上，33—376(1992)，510-518。

Table 3 Conditions of second spinning process

Second spinning process	Roll pass	Feed velocity of roll (Feed rate) /mm/min	Revolution of main spindle /rpm
Multi-cycle spinning 21 pass	First pass	800	1000
	Intermediate pass	1800→1000	1000
	Final pass	500	1000
Finish spinning 1 pass	Initial →Intermediate	150	100→300
	Intermediate →final	200→100	800→400

Fig. 5 Multi-cycle spinning roll pass for second spinning process

Fig. 6 Appearance of spun parts after first and second spinning processes

Fig. 7 Thickness and surface roughness distributions of spun part