

알루미늄 원통컵의 스피닝 성형성에 영향미치는 작업조건 연구

김종호* · 박규호* · 나경환** · 김승수**

(1999년 2월 11일 접수)

Influence of Working Conditions on the Spinnability of Cylindrical Cups of Aluminum Sheet Metal

J.H.Kim, K.H.Park, K.H.Na and S.S.Kim

Abstract

Many researchers have, nowadays, studied on spinning which can produce highly qualified products by CNC spinning machine equipped with hydraulic devices. The products have continuous metal flow which improves fatigue life, yield point, tensile strength and hardness. This study is to investigate the influence of various working conditions on the spinnability of cylindrical cups such as feed rate(ν), feed pitch(p), angle of roller holder(α), and the inclination angle of first roller path. Through experiments the feed rate of (0.4~0.7) mm/rev was shown to give the drawing ratio of 2.5 when the angle of roller holder was 5° . However, by increasing the angle of roller holder from 5° to 20° , the range of feed rate which can produce deeper cups became wider and the spinnability was also improved. The optimum working conditions, for the maximum formability of aluminum sheet metal as well as dimensional accuracy of spun cups, are presented and discussed.

Key Words : Spinning, Metal flow, Feed rate, Feed pitch, Angle of roller holder, Inclination angle of First roller path

1. 서론

스피닝 가공은 금속박판의 비 절삭가공의 일종으로 맨드릴과 롤러를 이용하여 성형하는 가공법이며 10세기 초부터 축 대칭 용기를 생산하는데 적용되어온 가공방법이다.

현재 금속 박판의 성형은 대부분 프레스 작업에 의해서 행해지고 있으나 다품종 소량생산일 경우엔 초기 설비 투자비 및 직·간접비용이 적게드는 스피닝 공정이 적합할 뿐 아니라, 대형 트럭이나 버스의 휠 디스크와 같이 두께

가 일정하지 않은 제품일 경우에도 스피닝 작업으로 성형할 수 있다. 또한 이 공정은 다른 성형법에 비해 소형의 장치와 공구로 가공이 가능하며 금속 유동(metal flow)이 연속적이기 때문에 피로수명, 인장강도, 경도 등의 제품 특성이 개선되는 효과를 얻을 수 있고, 대부분의 금속 재료에 대하여 적용이 가능하므로 박판 성형의 중요한 가공법중의 하나로 연구·개발되어지고 있다.⁽¹⁻²⁾

Hayama⁽³⁻⁴⁾는 스피닝 가공에 관한 기초 이론을 정리하고 실험 연구를 병행하면서 롤러이송 경로의 설계, 작업

* 서울산업대학교 금형설계학과
** 한국생산기술연구원 생산기반 기술개발센터 소성가공 연구팀

조건(이송피치, 이송속도, 롤러 치수, 가공 시작점 위치)들의 영향을 조사, 분석하였다. 그는 범용 스피닝(conventional spinning)이외에 시어 스피닝(shear spinning)과 회전 스피닝(tube spinning)에 관한 연구도 함께 진행하였으며, 스피닝 작업을 위한 롤러이송 경로(roller path)의 자동 설계를 위한 프로그래밍을 시도하였다. 그 이후 Kawai⁽⁶⁾는 Hayama의 연구 결과를 바탕으로 스피닝 기계의 NC화를 위한 가공 데이터와 실험 결과를 종합하여 데이터 베이스 구축과 검색 방법을 제시한 바 있다.

Wang⁽⁷⁾은 1개의 롤러와 2개의 롤러를 사용해서 스피닝 성형하였을 때 각각의 제품에 대한 두께분포 변화를 비교한 결과, 2개의 롤러를 가지고 성형하는 것이 1개의 롤러로 성형하는 것보다 성형품의 두께감소율이 약 10%~15% 정도 감소한다고 발표하였다.

현재 미국, 독일, 일본 등과 같은 공업선진국에서는 스피닝 성형에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 이미 산업전반에 걸쳐 그 적용범위가 확대되고 있으나 아직 우리나라에서는 이에 대한 연구가 미비한 상태이다.

본 연구에서는 여러 가지 롤러이송경로에 대한 최적 롤러이송경로 설계 및 실험을 통해 성형성이 좋은 것으로 판명된 지난 연구결과⁽⁸⁾를 토대로 일방향(one way)의 변형 인벌류트 곡선을 롤러이송경로로 고정시키고 이송속도, 이송피치, 롤러설치각도 및 초기 롤러경로경사각 등을 변화시키면서 스피닝 작업성 및 품질에 대한 실험연구를 하고자 한다.

2. 실험

스피닝 공정의 개요 및 실험 장치에 대해서는 선행 연구에서⁽⁸⁾ 자세히 기술한 관계로 본 연구에서는 실험 내용만 기술한다. 실험은 CNC 스피닝 기계를 사용하여 순수 알루미늄(A1050-H16) 원통컵의 성형을 위해 작업조건들을 변화시키면서 제품 품질에 미치는 영향을 조사한다. 선행 연구에서는 주로 롤러이송경로의 종류와 변화에 따른 성형성을 조사하였지만, 본 연구에서는 롤러이송경로보다는 작업조건 변화에 따른 성형성 조사를 위한 것으로 이송속도, 이송피치, 롤러설치각도, 초기 롤러경로경사각 등을 표1의 실험 조건에 따라 실험한다.

표1에서 이송속도(feed rate)는 맨드릴이 1회전할 때 롤러가 움직이는 변위(mm/rev)를 나타낸 것으로 다음 식과 같다

Table 1 Experimental condition for spinning (unit : mm)

| | |
|--|--------------------------|
| Material | A1050-H16 |
| Angle of roller holder (α) | 5°, 20° |
| Feed pitch(p) | 2, 3 |
| Blank diameter(D) | $\phi 80 \sim \phi 165$ |
| Feed rate(ν) | (0.2~1.6)mm/rev |
| Blank thickness(t_p)=1.0 | Clearance(c)=0.8 |
| Mandrel diameter(d)=60.0 | Roller diameter(Dr)=94.0 |
| Corner radius of mandrel(Rm)=5.0 Corner radius of roller(Rr)=4.0 | |

$$\nu = \frac{60 \times v}{N} \text{ (mm/rev)}$$

여기서 v 와 N 는 각각 롤러경로상의 접선속도(mm/sec)와 맨드릴 회전수(rpm)를 의미한다. 본 실험을 위한 기계 사양을 고려할 때 롤러 경로상에서의 접선속도는 (3~8) mm/sec의 범위에서, 그리고 주축 회전수는 (290~900) rpm의 범위에서 각각 조합하여 변화시킬 때 조절 가능한 이송속도는(0.2~1.6) mm/rev의 범위이다.

시편은 블랭킹 금형 또는 톱 기계(sawing machine)를 사용하여 직경 80 mm부터 5 mm 간격으로 165 mm까지 준비하고, 각각의 원형 시편 중앙을 직경 10 mm로 구멍 가공하였다. 이 구멍은 시편을 기계에 장착할 때 시편의 중심을 맞추어 볼트로 고정시키기 위한 것이다.

작업조건으로는 성형에 큰 영향을 미치는 것으로 알려진 이송속도(0.2~1.6 mm/rev), 이송피치(2, 3 mm), 그리고 롤러설치각도(5°, 20°)를 변화시키면서 실험한다. 각각의 실험에서는 시편 직경이 작은 것로부터 시작하여 성형 불량이나 나타날 때까지 계속 반복하여 최대 성형 가능한 시편 크기를 조사하고, 이때의 성형성과 제품 품질(두께분포, 직경분포)을 비교한다.

또한 롤러 이송경로의 패턴을 결정하는 롤러초기경사각의 변화에 따른 성형가능영역을 조사하기 위해 일반적으로 많이 채택하고 있는 (0.4~0.8)rad의 구간에서 5°씩 증가시키면서 제품 성형의 성공과 실패의 영역 분포에 대해서도 함께 비교, 검토한다.

3. 결과 및 고찰

그림 1과 그림 2는 이송피치가 2 mm일 때 롤러설치각

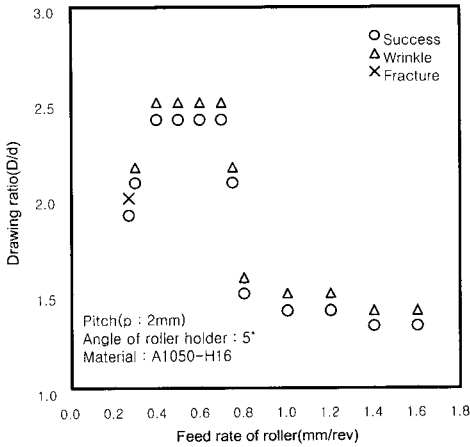


Fig. 1 Comparison of spinnability for the change of roller feed rate ($p=2\text{ mm}$, $\alpha=5^\circ$)

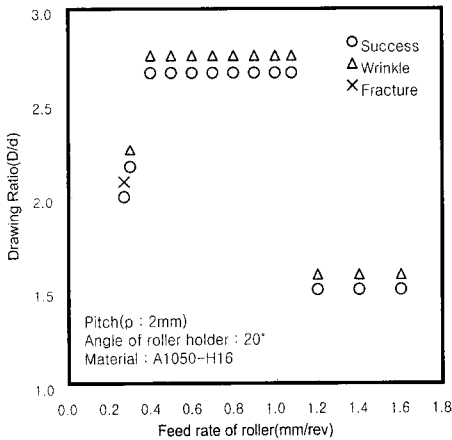


Fig. 2 Comparison of spinnability for the change of roller feed rate ($p=2\text{ mm}$, $\alpha=20^\circ$)

도를 각각 5°와 20°로 실험한 결과를 나타낸 것이다. 롤러설치각도를 5°로 하여 원통컵을 스피닝했을 때 이송속도가 (0.4~0.7) mm/rev의 범위에서 최대 성형성을 나타내는 구간이 되고 이때의 드로잉비(시편직경/맨드릴직경)는 약 2.5를 얻을 수 있었다. 롤러설치각도를 20°로 크게 하여 성형했을 때는 이송속도의 최대성형영역이 (0.4~1.1) mm/rev으로 더 확장되고 드로잉비도 2.7까지 향상되는 결과를 얻을 수 있었다.

그림 3의 (a)와 (b)는 롤러설치각도변화에 따른 롤러와 작업소재간의 변형과정을 나타낸 것으로 작은 설치각도일

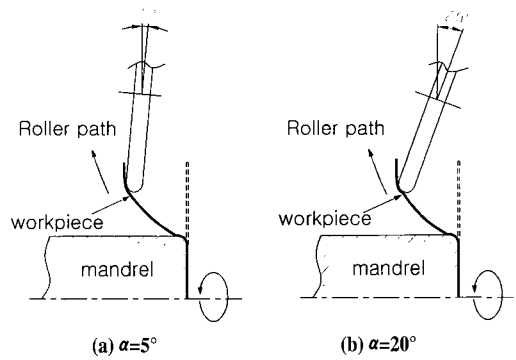


Fig. 3 Deforming configuration of a workpiece at each different degree of roller holder

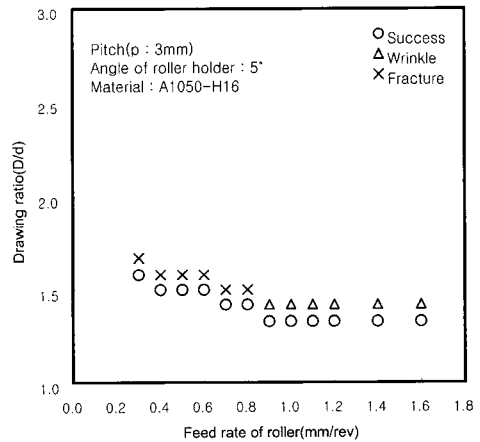


Fig. 4 Comparison of spinnability for the change of roller feed rate ($p=3\text{ mm}$, $\alpha=5^\circ$)

때는 롤러 측면의 직선부와 소재가 접촉되어 롤러 곡률반경이 증가하는 효과를 가져오게 된다. 즉 롤러 곡률반경이 작을 때는 롤러 접촉 부위의 소성변형영역이 원주방향의 띠 모양으로 형성되어 외측 플랜지 부위가 안정한 상태로 성형되어 주름이 잘 발생하지 않지만, 롤러 곡률반경이 클 때는 스피닝 하중에 의한 외측 플랜지 부위의 굽힘과 스피닝 변형이 복합되어 바깥 부분에 주름이 발생하기 쉽다.⁽²⁾

그림 4는 그림 1과 동일 작업조건에서 이송피치만을 2 mm에서 3 mm로 증가시켜 실험한 것으로 그림 1의 결과에 비해 성형성이 이송속도에 관계없이 드로잉비 2.5에서 1.5이하로 크게 떨어지고 있는 것에 반해, 롤러설치각도를 5°에서 20°로 바꾸어 실험한 그림 5의 결과를 보면 드로잉비가 2.5까지 증가하는 것을 보여주고 있다. 즉 스피

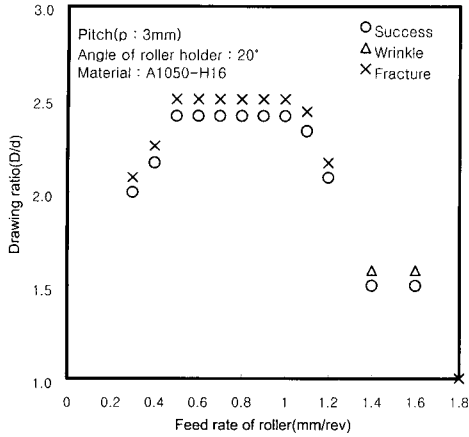


Fig. 5 Comparison of spinnability for the change of roller feed rate ($p=3\text{ mm}$, $\alpha=20^\circ$)

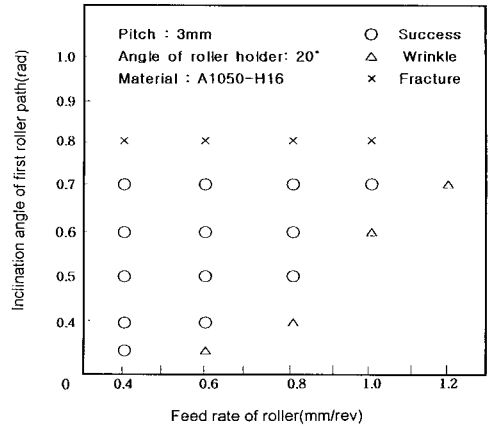


Fig. 7 Comparison of spinnability for the change of angle of first roller path ($\alpha=20^\circ$)

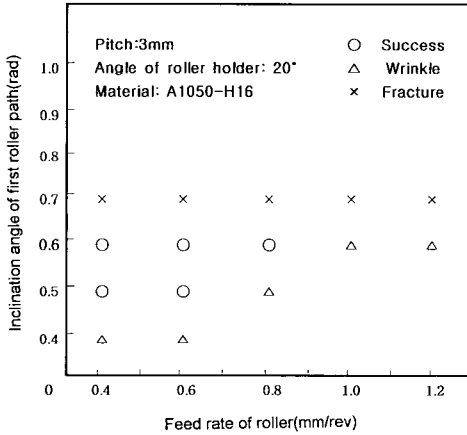


Fig. 6 Comparison of spinnability for the change of angle of first roller path ($\alpha=5^\circ$)

닝 작업을 위해서는 롤러설치각도에 따른 롤러와 소재의 접촉상태가 스피닝 작업에 크게 영향미치고 있음을 알 수 있고, 또한 이송피치를 증가시킬수록 소재의 최대 성형성은 주름보다는 오히려 파단에 의해 좌우되는 경향을 나타내고 있다.

그림 6은 시편 직경을 120 mm(드로잉비 2.0)로 일정하게 하고 초기 롤러경로경사각에 따라 스피닝 성형의 가능여부를 조사하기 위해 이송피치 3 mm, 롤러설치각도 5°에 대하여 실험한 결과이다. 롤러 이송속도 증가에 따라 성형가능 영역이 좁아지고, 똑같은 이송속도에서도 초

| | | | | |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|
| Spun parts | | | | |
| | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Feed pitch (mm) | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Angle of roller holder | 5° | 20° | 5° | 20° |
| Drawing ratio | 2.4 | 2.7 | 1.5 | 2.4 |

Fig. 8 Influence of both feed pitch and angle of roller holder on the spinnability of A1050-H16 material ($v=0.6\text{ mm/rev}$)

기 경사각이 작으면 맨드릴 코너에서 소재를 반경 내측 방향으로 크게 축소시키고자 하여 주름발생이 심하게 되고, 반대로 초기 경사각이 커지게 되면 반경 외측 방향으로 재료를 연신시키고자 하는 경향이 강해 파단 불량 발생한다. 이와 같이 롤러설치각도가 5°일 경우엔 스피닝 성형 가능한 초기 경사각 범위가 (0.5~0.6)rad으로 좁은 영역을 나타내고 있지만, 롤러설치각도를 20°로 증가시킨 경우에 있어서는 그림 2와 그림 5에서 보는 바와 같이 향상된 성형성을 보여주는 것 이외에, 그림 7에서와 같이 성형 가능 영역도 이송속도에 관계없이 넓은 영역(0.4~0.7rad)을 나타내고 있어 작업 조건 설정이 훨씬 용이해지는 것을 알 수 있다.

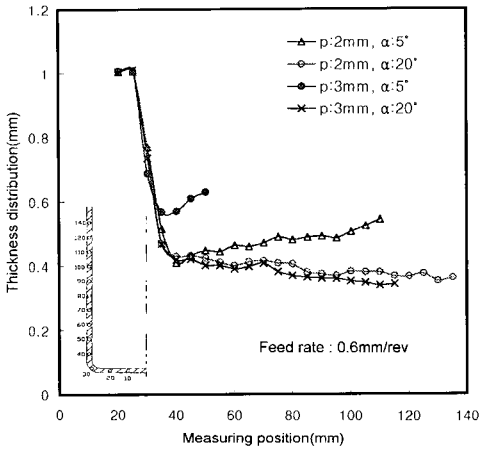


Fig. 9 Thickness distribution of spun cups for different working conditions

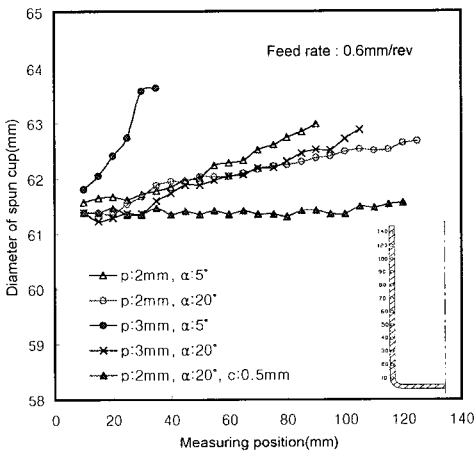


Fig. 10 Diameter distribution of spun cups for different working conditions

지금까지의 실험결과를 토대로 제품의 성형성은 이송속도, 이송피치, 초기 롤러경로경사각 이외에 롤러설치각도의 영향이 아주 큰 것으로 나타났는데, 본 연구에서는 기계 운동범위의 제약으로 인해 20° 까지 밖에 실험하지 못했지만, 향후 실험장치를 수정, 보완하여 이에 대한 보충연구가 필요하다.

그림 8은 이송속도를 0.6 mm/rev으로 고정시키고 이송피치(2, 3 mm)와 롤러설치각도(5°, 20°)를 변화시켰을 때의 성형품을 나타내고, 이들 제품들에 대한 두께 분

포와 직경 분포가 그림 9와 그림 10에 각각 나타나 있다. 롤러설치각도가 작고($\alpha=5^\circ$), 이송피치가 긴 경우($p=3$ mm)에는 성형성이 낮아 작은 직경의 시편을 스피닝한 것으로 다른 제품들에 비해 두께 감소율이 작고 측벽에서의 두께변화율이 큰 것으로 나타났으며, 이와 같은 현상은 그림 10의 외경치수 분포에서도 똑같은 경향을 보여주고 있다. 즉 컵의 측벽 길이가 긴 제품의 스피닝에서는 가공이 진행되면서 롤러에 의해 계속 측방향 인장력이 작용되어 측벽이 연신되면서 성형되기 때문에 측벽 두께의 균일한 분포를 얻을 수 있으나, 측벽 길이가 짧은 경우엔 위와 같은 충분한 연신이 일어나지 않아 두께 변화율이 심하게 나타났다. 일반적으로 롤러설치각도가 작을 때는($\alpha=5^\circ$) 측정 위치 증가에 따라 두께가 서서히 증가하고 있지만, 롤러설치각도가 20°로 증가되어 롤러 곡률에 의한 국부 소성변형을 크게 하면 측정위치 증가에 따라 두께가 약간 감소하고 있는 경향을 보여주고 있다.

성형품 외경치수 분포는 선행 연구⁽⁶⁾의 결과와 마찬가지로 측정위치 증가에 따라 외경이 서서히 증가하고 있으며, 이를 해결하기 위해선 스피닝에서의 소재 두께 감소량을 고려한 틈새(예를들면 0.8 mm에서 0.5 mm로 변경)를 적용하여 작업하면 그림 10에서와 같이 균일한 외경의 원통 컵 성형도 가능하다.

4. 결 론

본 연구에서는 알루미늄 원통 컵의 스피닝 작업에 있어서 여러 작업조건(이송피치, 이송속도, 초기롤러경로경사각, 롤러설치각도) 변수들의 스피닝 성형성에 미치는 영향에 관해 실험적 연구를 하였으며 이들의 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 변형 인벌류트곡선에 대해 롤러설치각도를 각각 5°와 20°로 실험한 결과, 롤러 설치각도가 클 때 성형성이 향상되어 드로잉비가 높아지고 이송속도 변화에 따른 최대 성형가능영역도 확대되었다.
- (2) 최대 성형성을 나타내는 이송속도의 분포는 롤러설치각도 변화에 따라 다르지만 일반적으로 0.4~0.7 mm/rev의 범위에서 좋은 성형성을 나타내었다. 2 mm와 3 mm의 이송피치에서는 피치가 작을 때 성형성이 우수한 것으로 나타났다.
- (3) 초기 롤러경로경사각의 변화도 스피닝 성형성에 영향을 미치고 있으며, 작업 조건에 관계없이 적용 가능한 경사각은 (0.5~0.6)rad인 것으로 나타났다.

참고문헌

- (1) SME, 1984, 'Spinning', Tool and Manufacturing Engineers Handbook, chapter 9.
- (2) A. Baba, 1988, "스피닝의 고정도화 동향과 전망", Journal of the JSTP, vol.29, no.324, pp. 13~20.
- (3) M. Hayama, 1989, "Roller pass programming and selection of working conditions in conventional spinning", Journal of the JSTP, vol.30, no.345, pp. 1403~1410.
- (4) M. Hayama, M. Nakamura, T. Watanabe and H. Hamano, 1986, "Roller Path Programming in Conventional Spinning by N.C. Spinning Machine", Journal of the JSTP, vol.27, no.308, pp. 1053~1059.
- (5) M. Hayama, H. Kudo, T. Murata, 1992, "Development of roller pass programming for spinning shells of various shapes", Journal of the JSTP, vol.33, no.376, pp. 510~518.
- (6) K. Kawai, 1989, "A Fact Data Base on Spinning Technology", Proc. Int. Conf. on Rotary Forming, pp. 59~62.
- (7) Q. Wang and Z. R. Wang, 1993, "Numerical Simulation and Experimental Study on the New Process of Two-Roller Bending Spinning", Advanced Technology of Plasticity, vol.3, pp. 1387~1390.
- (8) 김종호, 박규호, 1998, "알루미늄 원통컵 스피닝 작업을 위한 롤러 이송경로 설계", 한국소성가공학회지, 제7권 제5호. pp. 489~495.