

스피닝공정에 있어서 스프링백 억제방안

박중언*, 이우영**, 최석우***, 김승수***, 나경환***

Springback Reduction of Multi-step Cylindrical Cup in Spinning Process.

JoongEon Park*, WooYoung Lee**, Seogou Choi***, SeungSoo Kim***, KyoungHoan Na***

ABSTRACT

Spinning process is a chipless metal forming method for axi-symmetric parts, which is more economical, efficient and versatile method for producing parts than the other sheet metal forming process such as stamping or deep drawing. In this study, a fundamental experiment was conducted to improve productivity with process parameters such as tool path, angle of roller holder(α), feed rate(ν) and corner radius of forming roller(R_r). These factors were selected as variables in the experiment because they were most likely expected to have an effect on spring back. The empirical results were analyzed to know how much spring back was affected by these factors. And also thickness and diameter distribution of a multistage cup obtained by spinning process were observed and compared with those of a commercial product produced by conventional deep drawing.

Key Words : Spinning process(스피닝공정), Spring back(스프링 백), Corner radius of roller(롤러코너반경), Feed rate(이송속도), Tool path(이송경로), Angle of roller holder(롤러설치 각도).

1. 서론

금속 박판의 성형은 대부분 프레스공정에 의해서 이루어지고 있으나, 생산량이 수천 개 이하의 소량인 경우에는 초기설비 투자비와 직·간접비용이 적게 들고 다품종 소량생산에 유리한 스피닝공정이 보다 적합하다고 할 수 있다. 더욱이 제품의 두께가 일정하지 않아서 일반 프레스 공법으로는 성형이 어려운 경우, 스피닝공정이 보다 유리하다고 할 수 있다. 스피닝공정(spining process)은 맨드렐(mandrel)에 판 또는 관, 튜브 등의 형상을

가진 소재를 장착하여 회전시킨 후, 회전하는 소재의 표면을 성형공구로 맨드렐의 축 방향과 반경 방향으로 점진적으로 누르면서 맨드렐과 같은 형상의 축 대칭 원형제품을 만드는 비 절삭 점진 성형공정^{[2][3]}으로, 비교적 복잡한 형상도 손쉽게 성형이 가능하고, 다품종 소량생산에 적합하여 축 대칭의 금속제품에 널리 활용되고 있는 우수한 공정이다(Fig. 1). 그러나 고부가가치 고정밀 성형 제품성형을 위한 다양한 연구가 뒷받침되지 못하여, 아직 고정밀 제품생산에는 널리 응용되지 못하고 있다. Wang^[6]과 Hayama^{[7][8]} 등은 스피닝공정에 대한 기초 연구를 충실히 수행하여, 스피닝공

접수 2001년 3월 23일
* 한국기술교육대학교 기계공학과 대학원
** 한국기술교육대학교 기계공학부
*** 한국생산기술연구원 생산공정기술연구팀

정의 보급 및 활용에 큰 힘이 되었으나, 제품품질의 고급화와 정밀화에는 미진한 점이 있다고 판단된다. 따라서 고부가가치 제품성형에 스피닝공정을 적용하기 위해서는 스피닝공정에 대한 다양한 연구가 진행되어야 한다고 판단된다.

이와 같은 맥락에서 시작된 본 연구가 스피닝공정의 정밀도 향상과 부품 정밀도 향상에 토대가 되어, 스피닝공정이 고부가가치 정밀제품 성형에 널리 활용됨으로써 21세기 부품 선진화에 기여하는 계기가 되기를 기대한다.

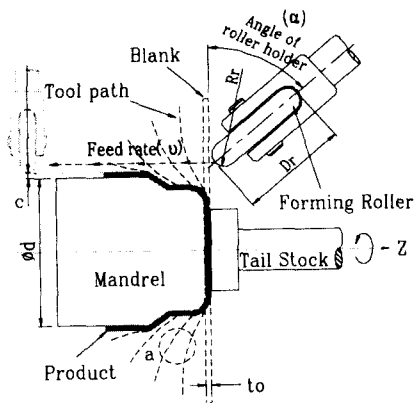


Fig. 1 Spinning process.

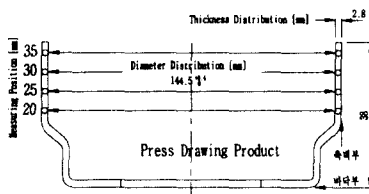


Fig. 2 Target shape of product.

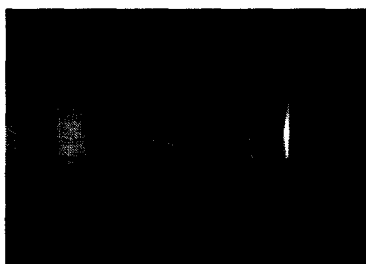


Fig. 3 Spinning machine.

Table 1 Mechanical properties and chemical compositions of workpiece.

workpiece [SPHD]	Mechanical properties	Thickness [mm]	2.8
		Tensile strength [kg/mm ²]	28
		Elongation [%]	to=2.5 ~ 3.2mm 33 ~ 35
	chemical compositions (%)	P	0.04
		C	0.10
		Mn	0.50

2. 실험

본 실험은 프레스 드로잉 공정으로 생산되어 왔던 제품을 스피닝공정으로 대체하고자 진행된 것으로, 후속공정과의 원활한 연계를 위하여 기존의 프레스 드로잉 제품과 같은 규격으로 (내경 144.5(+0.4, -0.0)mm, 두께 2.8t, (Fig. 2 참고)) 제품을 생산하기 위한 공정 Know-how 및 최적 공정변수를 제시하기 위하여 수행되었다. 실험은 한국생산기술연구원이 (주)경창산업과 공동으로 개발한 회전소성 가공장치(Fig. 3)를 이용하여 수행하였으며, 성형롤러 이송속도(v), 성형롤러 코너반경(R_r) 등의 성형변수는 선행연구자^{[9][10]}들이 제시한 값들을 참고하였으며, 실험에 적합하도록 일부 값들을 수정하여 사용하였다. 실험에 사용한 소재는 두께 2.8mm의 드로잉용 열간압연강판(SPHD)으로 직경 206mm로 블랭킹(Blanking)하여 사용하였다. Table 1에는 사용소재에 대한 기계적 특성과, 화학적 성분을 나타내었다.

스피닝공정으로 다단 원형제품을 성형하기 위해서는 Fig. 1에 나타나 있는 것처럼 성형롤러 이송경로(tool path)를 여러 번 적절히 적용하여야 한다. 따라서 양질의 제품을 성형하기 위해서는 여러 번의 실험과 연구를 통하여 성형롤러 이송경로가 적절히 선정되어야 한다.

본 실험에서는 그동안의 연구결과^{[9][10]}와 선행연구자의 연구결과를 토대로 기초 예비성형 실험을 한 결과 Fig. 4와 같은 성형롤러 이송경로를 설계할 수 있었다.

그러므로 본 실험에서는 Fig. 4와 같이 선정된 성형롤러 이송경로를 이용하여 성형롤러 코너반경, 성형롤러 이송속도, 성형롤러 설치 각의 성형

변수를 이용하여 성형변수를 최적화하고, 양호한 품질의 제품을 생산하기 위한 방안을 제시 하고자 한다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 5는 공정의 여러 변수(Table 2)를 다양하게 적용하여 실험한 결과 성형성이 대체로 우수한 데이터를 정리한 결과중의 대표적인 경우를 나타낸 것으로, 클리어런스(c) (Fig. 1 참고)를 프레스드로잉 성형조건과 같은 2.8mm로 맞추고 성형롤러 설치 각 10°, 성형롤러 코너반경 6, 8, 10, 12mm, 성형롤러 이송속도 1.5mm/rev로 적용하여, 성형했을 때 성형품의 두께분포를 나타낸 것이다. Fig. 5에서 살펴볼 수 있듯이 성형롤러 코너반경 12mm인 경우가 제품의 품질이 드로잉 제품과 유사한 형태로 나타내고 있음 알 수 있다. 이와 같이 성형롤러의 이송경로를 고정하였을 경우 스피닝 공정의 주요변수는 성형롤러 코너반경, 성형롤러 이송속도, 성형롤러 설치 각 등이 있는데 이중에 성형롤러 코너 반경은 제품의 물리적 형상에 가장 많이 영향을 미치는 중요변수로서, 여러 번의 다양한 실험을 통하여 본 제품을 성형함에 있어서는 성형롤러 코너반경이 상대적으로 큰 12mm일 때 가장 적합함을 알 수 있다.^{[9][10]}

Fig. 6, 7은 위와 같은 실험결과를 토대로 성형롤러 코너반경을 12mm을 고정하고, 성형롤러 설치각을 5, 7°로 적용했을 경우의 성형롤러 이송속도에 따른 두께분포를 나타낸 것으로, 성형롤러 이송 속도가 상대적으로 큰 경우, 즉 1.5mm/rev인 경우에는 프레스 드로잉 공정 성형제품 두께에 근접하는 우수한 결과를 나타냈다.

또한 Fig. 5, 6, 7에서 알 수 있듯이 성형롤러 이송속도가 1.5mm/rev인 경우에는 성형롤러 설치 각이 작을 때 성형제품 두께는 프레스 드로잉 제품에 근접한다는 것을 알 수 있었다.

그러나 성형롤러 설치 각이 5°이하가 되면 Fig. 7에서와 같이 제품의 두께분포는 양호하여지지만, 제품 표면 불량현상이 자주 발생하게 된다. 이것은 1번째 성형롤러 이송경로에서 소재를 성형할 때, 성형롤러 코너반경(Rr)이 아닌 성형롤러 측벽과 소재의 이상 접촉에 의하여 발생하는 현상으로 판단된다. 따라서 본 제품 성형에서 성형롤러 설치 각은 7°가 한계인 것으로 판단된다.

Table 2 Experimental conditions of spinning process.

Blank Diameter(Do)	206mm
Blank Thickness(to)	2.8mm
Clearance(c)	2.8mm
Material	SPHD
Mandrel Diameter(d)	∅144.5mm
Forming Roller Dia.(Dr)	∅180mm
Forming Roller Corner Radius(Rr)	6, 8, 10, 12mm
Angle of Roller Holder(α)	5°, 7°, 10°
Spindle speed of revolution	598 rpm
Forming Roller Feed Rate(ν)	0.5, 1.0, 1.5mm/rev

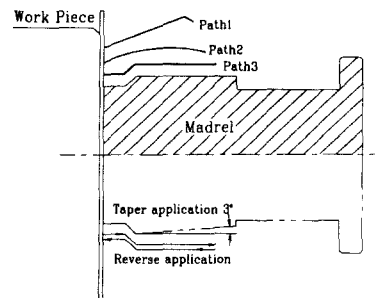


Fig. 4 Optimized tool path for the target product.

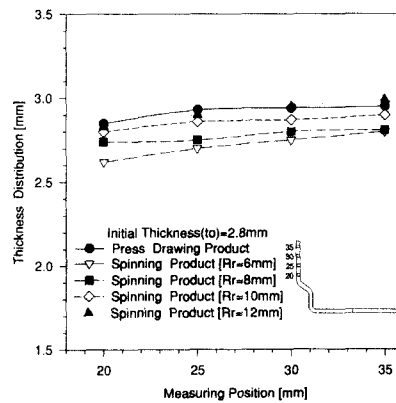


Fig. 5 Comparison of thickness distribution with respect to various corner radius of roller. ($\alpha=10^\circ$, $\nu=1.5\text{mm/rev}$).

Fig. 8은 성형롤러 설치각과 성형롤러 이송속도에 따른 측벽부의 내경 분포를 나타낸 것이다.

전체적으로 프레스 드로잉 제품보다 성형높이 20mm위치에서는 성형롤러 설치 각이 5°, 7°일 때 성형롤러 이송속도 변화에 큰 영향 없이 비교적 스프링백양이 적고 대체로 일정한 경향을 나타내고 있으나 성형롤러 설치 각이 10° 일 때는 35mm 위치에서는 약 2mm까지 크게 측벽부 내경이 커졌다. 즉 측벽부의 내경 분포는 제품의 두께분포와 비슷한 경향으로 성형롤러 설치 각이 10°인 경우보다 상대적으로 작은 5°, 7°인 경우가 보다 양호한 결과를 나타내고 있다. 그러나 제품이 요구하는 공차 범위를 만족시키는 수준에는 미치지 못함을 알 수 있었다. 따라서 이와 같은 문제를 좀더 개선 하고자 본 연구에서는 역 가공 공정 및 역 테이퍼 성형 공정을 추가하여 몇 가지 실험을 수행하였다.

Fig. 9는 Fig. 5, 6, 7, 8등의 실험 결과를 토대로 수행한 역 가공 공정 실험 결과를 나타내고 있다. 설치 각이 5° 인 경우에는 앞서 설명한바 대로 성형시 불량 발생하여 제외하였다.

여기서 역 가공이란 설계자가 성형롤러 이송경로를 설계한 궤적을 따라서 성형롤러를 이송, 성형시키고 그 궤적에 따라 다시 한번 역으로 성형하는 공정이다(Fig. 4 하단부 참조).

Fig. 9는 성형롤러 이송경로 마지막(3번째)번째와 모든 경로에 역 가공 수행을 한 후의 결과를 나타내주고 있다.

모든 성형롤러 이송경로를 역 가공 적용했을 때보다 마지막 경로만을 역 가공을 한 경우의 성형품의 두께분포가 보다 우수하였다. 그러나 측정위치점이 올라갈수록 0.3mm정도까지 두께가 두꺼워지는 현상이 나타났으며, 프레스 드로잉 제품직경(내경)이 기준값 144.5mm에 비해 0.5~1.0mm정도 커지는 현상이 나타났다. 따라서 역 가공 공정의 적용은 품질 개선에는 큰 효과가 없다는 것을 알 수 있었다.

따라서 스프링백을 상쇄시키기 위해서 맨드릴 바깥쪽 직경을 역 테이퍼(테이퍼 각 3.0°) 가공하여 제품이(Fig.4 하단부 참조), 오버밴딩(over bending)될 수 있도록 맨드릴을 수정하여 실험을 수행하였으며, 그 결과를 Fig. 10에 나타내었다.

성형롤러 이송속도에 따라 성형품을 비교해 보면 두께분포는 성형롤러 이송속도가 1.5mm/rev일 때

가 1.0mm/rev일 때 보다 근접한 두께 분포를 나타내고 있고, 직경분포는 144.80mm~144.98mm로 프레스 드로잉 제품의 측벽부 내경 144.5(+0.4, -0.0)mm에는 미치지 못하지만 비교적 양호한 결과를 얻을 수가 있었다. 역가공 공정의 내경분포는 0.5~1.0mm인데 비해 역 테이퍼 가공에서는 0.3~0.5mm정도로 우수하였다. 스피닝 공정으로 다단 컵 형상의 제품을 성형하는 공정에서 맨드릴 안쪽면 역 테이퍼 가공하여 적용 시켰을 때 목적치에 근접한 치수를 얻을 수가 있었고 본 공정으로 제품의 허용공차에 근접하여 양호한 결과를 얻었다.

Fig. 11은 최적성형조건으로 판단되는 성형롤러

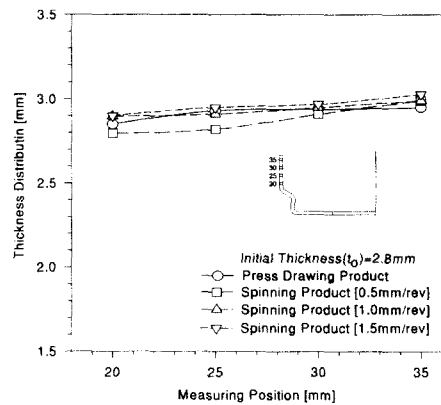


Fig. 6 Comparison of thickness distribution with respect to various feed rates. ($\alpha=7^\circ$, $Rr=12mm$).

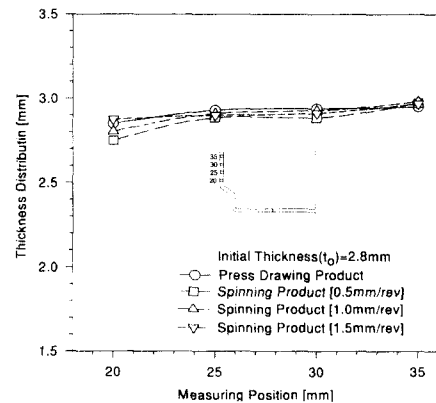


Fig. 7 Comparison of thickness distribution with respect to various feed rates. ($\alpha=5^\circ$, $Rr=12mm$).

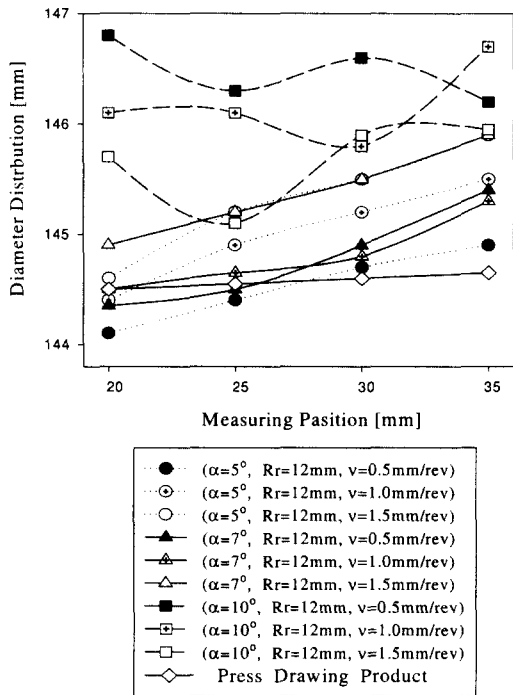


Fig. 8 Diameter distribution with respect to feed rate and angle of roller holder.

설치각 7° , 성형롤러 코너반경 12mm, 성형롤러 이송속도 1.5mm/rev, 맨드렐에 역 테이퍼를 적용하여 성형한 제품을 나타내었다.

가공조건을 적절히 선정하여도 본 실험과 같이 소재두께를 적극적으로 변화시키지 않는 일반 스피닝(conventional spinning)공정 있어서 어느 정도의 스프링백은 존재하는 것으로 판단되었다.

따라서 본 개발대상제품은 현재 측벽부의 두께를 변화시키는 공법 즉, 클리어런스(c)를 측벽부에서 일부 감소시키는 공법을 적용하여 완성하고 있으며, 양산준비를 서두르고 있다.

이와 관련된 자료는 추후에 다시 정리하여 상세히 보고 할 계획이다.

4. 결론

본 연구에서는 프레스 드로잉 성형제품의 측벽부 내경 144.5mm, 두께 2.8t인 제품을 스피닝공정을 이용하여 성형한 결과, 성형롤러 설치각(α), 성

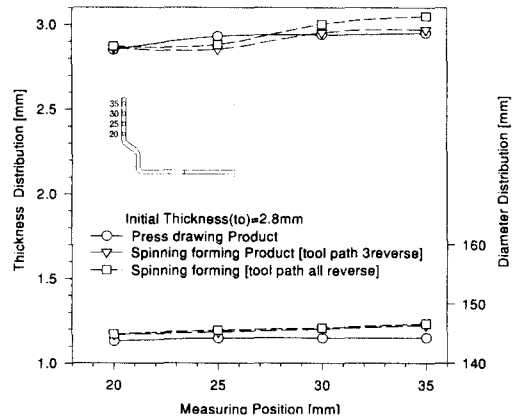


Fig. 9 Comparison of thickness distribution and diameter distribution. (reverse application $\alpha=7^\circ$, $Rr=12\text{mm}$, $v=1.5\text{mm/rev}$.)

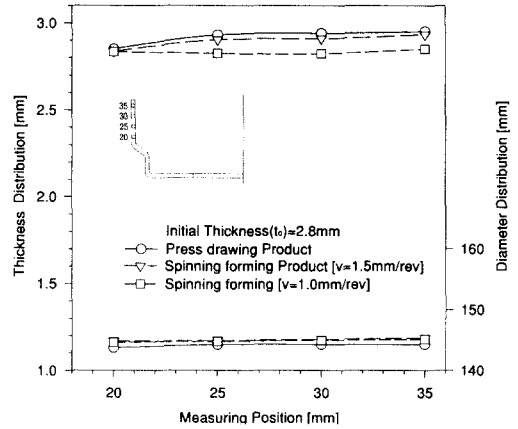


Fig. 10 Comparison of thickness distribution and diameter distribution with respect to various feed rate. (taper application, $\alpha=7^\circ$, $Rr=12\text{mm}$).

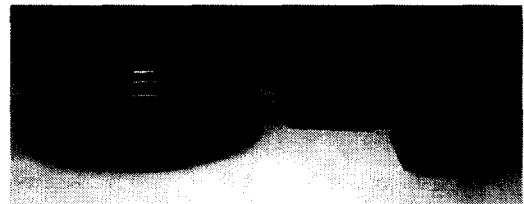


Fig. 11 The optimized product of multistep cylindrical cup.

형롤러 코너반경(Rr), 성형롤러 이송속도(ν)등의 성형변수들이 제품의 두께분포와 스프링백(spring back)에 미치는 영향을 파악 할 수 있었다.

1. 성형롤러 코너반경이 상대적으로 큰 12mm일 때가 6, 8, 10mm보다 두께가 얇아지는 현상과 측벽부 내경이 커지는 현상이 감소하는 것으로 나타났다.
2. 성형롤러 이송속도는 상대적으로 빨라질수록 품질이 우수한 결과를 나타내었으며, 본 제품 성형시 1.5mm/rev인 경우가 가장 알맞은 것으로 나타났다.
3. 또한 선정된 가공경로에서 성형롤러 코너반경 12mm일 때 성형롤러 설치각 5, 7, 10°로 실험한 결과, 성형롤러 설치각도가 상대적으로 작아 질 수록 두께분포가 양호하였다. 그러나 설치각이 5°이하가 되면 제품표면 불량 발생하였다.
4. 역 가공공정과 역 테이퍼 공정을 수행한 결과 맨드렐에 역 테이퍼를 주어 성형한 제품이 보다 우수한 결과를 나타내는 것을 알 수 있었다.
5. 따라서 본 제품 성형시 성형롤러 코너반경 12mm, 성형롤러 이송속도 1.5mm/rev, 성형롤러 설치각 7°, 맨드렐에 역 테이퍼를 주었을 때 성형품의 두께분포, 스프링백량이 최소화되는 것을 확인하였다.
6. 스피닝공정에서 소재의 두께를 변화시키지 않는 성형 즉, 원 소재의 두께와 최종 제품의 각 부위별 두께가 일정한 제품을 얻기 위한 성형의 경우, 스프링 백을 완전히 없게 하는 것은 대단히 어려운 것을 재확인하였다.

Trans, ASME, 49, 1964.

6. Wang, Qiang., and Z, R, Wang., "Numerical Simulation and Experimental Study on the new Process of too-roller bending spinning," *Advanced Technology of Plasticity*, Vol. 3 pp. 1387~1390, 1993.
7. Masujiro, Hayam., "回轉塑性加工學," pp. 235~610, 1981.
8. Masujiro, Hayam., "新回專加工學," pp. 256~300, 1981.
9. 김종호, 박규호, "알루미늄 원통컵 스피닝 작업을 위한 롤러 이송경로 설계," *한국소성가공학회지*, 제7권 제5호, pp. 489~495, 1998.
10. 나경환외 "복합 회전소성 가공공정 개발최종 보고서," *한국생산기술연구원*, 2000.
11. 박중언외 "스피닝 공정에 있어서 스프링 백 현상에 관한 연구," *춘계학술대회 발표논문집*, *한국정밀공학회*, pp. 837-841, 2000.

참고문헌

1. R, L, Kegg., *Engrg. for Industry*, *Trams. ASME* 119, 1960.
2. S, Kalpakciogbu., *J. of Engrg. for Industry*, *Trans, ASME*, 125, 1961.
3. S. Kalpakciogbu, *J. of Engrg. for Industry*, *Trans, ASME*, 478, 1961.
4. H,C, Sontais., S, Kobayashi., and E, G, Thomse., *J. of Engrg for Industry*, *Trans, ASME*, 1963.
5. S, Kalpakciogbu., *J. of Engrg. for Industry*,