

Free Mandrel에 의한 Metal 스피닝 기술

이태호*

Metal Spinning Technology of Using Free Mandrel

Tae - Ho Lee*

ABSTRACT

This paper investigates mainly the new free mandrel technology of the metal spinning. Although the classical spinning, so called conventional, shear, tube spinning, uses the axisymmetric shaped mandrel(which is same inner shape of the final product), new technology does not use it.

초 록

기존의 재래식, 전단, 튜브 스피닝이 모두 축대칭 제품의 형상화된 맨드릴을 사용하여 가공하여 왔다. 이러한 고전적 기법에서 한걸음 더 나아가 비축대칭, 열처리를 동반한 스피닝, 맨드릴이 자유로운 새로운 공법이 시도되고 있다. 본 조사에서는 주로 자유 맨드릴 공법에 대하여 동향을 조사하였다.

Key Words: Free Mandrel(자유 맨드릴), Spinning(스피닝), Blank(블랭크), Shear Spinning(전단 스피닝)

1. 서 론

잘 알려진 바와 같이 항공 우주, 자동차, 선박, 철도, 등 다양한 분야의 운송 시스템은 모두 금속 소재가 주를 이루고 있다. 운송 시스템은 이미 그 목적에서 볼 수 있듯이 빠르고 안전하게 움직이는 것이 필수적이다. 따라서 운송용 금속 소재는 가볍고 강도가 높아야하는 필요성이 제기된다. 즉 경량화, 강건성, 동시에 내구성을 가질 필요가 있다. 금속 소재가 이러한 특성을 갖

게 하기 위하여 사용되는 기술로는 열처리, 단조 공법들이 사용되고 있다. 이러한 요구조건에 잘 부합하는 기법 중에 스피닝이 공정이 있다. 미국, 일본, 독일, 중국 등에서는 이 분야의 기술이 활발히 진행되고 있다. 스피닝 공법으로 생산하는 부품은 축대칭 형상을 갖고 있는 판재 소재를 사용하여 가운데가 비어 있는 부품을 만드는 데 이용하는 공법이다. 스피닝은 재래식(conventional) 스피닝, 전단(shear) 스피닝, 튜브 스피닝으로 대별한다. 재래식 스피닝에서는 두께가 거의 변하지 않는다. 형상화된 제품의 두께는 블랭크 두께와 같다. 이에 대하여 전단 스피닝과 튜브 스피닝의 경우에는 두께가 감소한다. 전단 스피닝의 경우에는 두께가 가공물의 벽과 회전

* KISTI(한국 과학기술정보연구원),
ReSeat 프로그램 전문 연구위원
연락처, E-mail: ltaho0547@reseat.re.kr

하는 축의 각도에 따라 결정되어 지고, 튜브 스피닝의 경우는 가공물의 길이 증가에 따라서 결정된다.

2. 금속 스피닝의 기술 개발

재래식 스피닝(conventional spinning)은 형상 변화에 집중되고 벽두께 자체는 초기의 블랭크 두께와 같이 하는 스피닝이 이루어져 왔다. 이 공정에서는 일반적으로 롤러가 여러 번 지나간다.

전단 스피닝은 통상적으로 롤러를 1회 작업하며, 벽두께는 정현법칙에 의해서 결정되는 공법이다. 정현법칙은 초기 블랭크의 판재 두께를 t_0 라 하고 스피닝된 최종 두께를 t_f 라 할 때, 그리고 스피닝 각도, 즉 회전축과 맨드릴의 원추 반각을 α 라 하면 다음과 같은 sine 법칙이 성립함을 말한다.

$$t_f = t_0 \sin(\alpha)$$

그러나 이러한 전단 스피닝에서 제품의 두께를 의도적으로 정현 법칙에서 얻어지는 두께보다 얇게 하는 over spinning이나 두껍게 하는 under-spinning이 있다. under spinning을 하게 되면 플랜지를 안쪽으로 잡아당기게 되고, 이로 인해 플랜지가 롤러 쪽으로 기울어 주름형성의 원인이 된다. 반면에 over spinning을 하게 되면 롤러 앞쪽에 build up 현상이 일어나 플랜지가 앞쪽 즉 롤러에서 멀어지는 쪽으로 굽어진다.

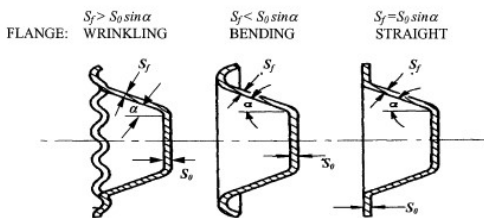


Fig. 1 Variations of shear spinning

Flow forming 이라고도 하는 튜브 스피닝은 원통형 맨드릴을 사용하여 실린더 형상의 제품을 만들며 벽두께는 모재보다 얇아지고 길이는 늘어나게 된다. 롤러는 하나 또는 2, 3개를 사용하기도 한다.

전단 스피닝에서 tool의 힘에 영향을 주는 인자로는—이송율, 맨드릴 회전 속도, 판재 두께, 벽 각도, 롤러 직경, 롤러의 코 반경, 블랭크 직경, over-spinning 등이다. 이송 속도와 접선 방향 힘은 선형으로 증가한다. 최적의 맨드릴 회전 속도가 존재하며, 판재 두께와 세 방향의 힘의 분력도 비례한다. 성형 모드는 최초와 종말에서 서로 다르다. 이 과정을 세 단계로 나누어, 롤러가 판재에 접촉하는 맨드릴 반경으로 굽힘 과정과, 점차적으로 판재를 굽히면서 제품을 회전하는 과정, 끝으로 플랜지 성형 과정이다. Quigley와 Monahan은 tailstock의 끝 부분, 롤러에 의한 성형 영역과 플랜지 영역 등 셋으로 나누어 스트레인을 조사하였다. 세 영역 모두 후프 스트레인이 반경과 두께 스트레인에 비하면 작았다. 롤러의 길(path)에 대하여도 연구하였는데, 선형, 2차형(quadratic), 나선형(involute) 중에서, 나선형이 가장 좋은 결과를 보여 주었다. 스피닝율이 선형에는 1.7, 2차형에는 2에 비하여 나선형에서는 2.5를 보이고 있다.

이론적 연구로는 성형 에너지 방법을 사용한 힘의 예측, 상한 계(upper bound) 방법, 주름에 의한 실패 예측, 스피닝에서 응력 예측 등의 연구가 있다. 이와 같은 실험적 이론적 연구를 해석하기 위한 방안이 수치 해석이다. 묵시적(implicit) 모델로 탄-소성 재료에 대한 알고리즘(2001)을 시작으로, 2003년 레이저 가열 열간 가공에 최적 위치와 열간 영역의 최적화에, 또 2006년에는 over, under-spinning 조건에서의 플랜지 굽힘에 대하여 탄-소성 묵시적 모델이 사용되었다. 탄-소성 모델에 2가지 명시적(explicit) 모델이 있는데 2002년에 Kleiner 등이 2006년에는 응력과 스트레인, 두께 분포에 사용하였다.

3. 새로운 기술 동향

맨드릴을 사용하지 않는 즉 다이(die)가 없는 상태에서의 전단 스피닝을 가요성(flexible) 스피닝이라고 부른다.

예비 성형된 것을 사용하여 맨드릴이 없는 자유 스피닝에 대하여 1944년 Kitazawa 등이 조사를 하였다. 회전하는 판재의 양 끝단을 클램프로 조이고, 원통형 툴(tool)을 사용하여 원하는 형상으로 점차 성형하는 방법이다.

두 번째 방법은 1997년 Shima 등이 제안한 것으로 맨드릴 대신에 롤러를 판재 내부에 설치하는 것이다. 이 롤러가 기존의 바깥의 롤러와 함께 두 개의 반대 쪽 롤러 세트가 되어 같이 움직이면서 통제가 가능하게 되고, 아주 국부적인 성형도 가능해진다.

2001년 Matsubara는 움직이는 블랭크 홀더를 개발하였다. 판재는 블랭크 홀더 양 끝단에 클램프로 부착하고, 이 홀더는 회전축을 따라서 움직인다. 물론 롤러도 같이 움직인다. 이 방법은 판재에서 구(공)면에 가까운 성형이 가능한 것으로 기존 형상으로는 불가능했던 것이다. 유사한 방법으로 상용 CAD/CAM 시스템을 이용하고 수치제어 방법으로 3차원 형상을 성형할 수 있다. 표면이 볼록한(convex) 것에는 광범위하게 적용 가능하며, 반 꼭지각이 최소 10도 인 경우에는 원추형이나 피라미드형에 면의 수에 관계 없이 가능하다.

4 번째 방법으로 Kawai 등이 맨드릴이 없는 것을 개발했는데, Kitazawa는 양 끝단을 부착한 것 과 달리 여기서는 양 끝단을 자유로 놓아 두고 센터를 고정한 것이다. 이 방법은 원추형과 구형(2007) 부품 가공에도 사용된다.

언급한 대로 전단 스피닝에서는 맨드릴의 외형과 같이 제품의 내부 형상이 같게 성형이 되고 있다. 그리고 이때 성형 롤러는 맨드릴의 외형을 따라 정현 법칙대로 움직인다. 위 상황에서 롤러의 움직임에 착안하여 즉 맨드릴은 없어도 롤러가 정현법칙을 따라 움직이게 하는 성형 방법을 생각할 수 있다. 즉 스피닝 선반에서 회전축 한 끝에 원통형 맨드릴을 회전하게 한 상태에서 가공할 블랭크를 부착하고 롤러를 이동 시켜서 작업을 하는 것이다. 이 때 중요한 것은 작

업소재가 성형 과정에서 맨드릴이 없어도 충분히 형상을 유지 할 수 있는 강성(rigidity)이 있어야 한다. 그러면 제품의 내부 형상과 일치하는 맨드릴 외형이 없어도 가능하다.

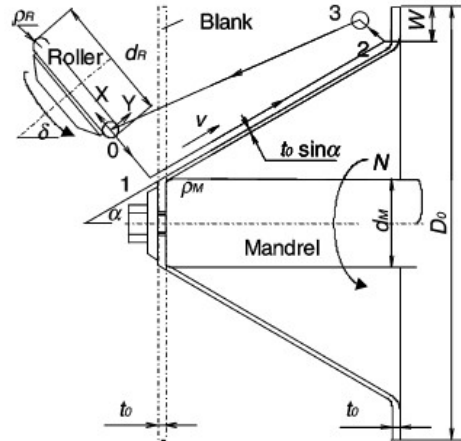


Fig. 2. Spinning with a single cylindrical mandrel (Kawai et al 2001)

실험을 통한 조사 결과 다이가 없는 전단 스피닝의 경우에 원통형 맨드릴의 직경이 작으면, 맨드릴의 코너 부위의 원추 벽 두께가 감소하는 것을 알았다.

또 이 벽두께의 얇아지는 현상으로 때때로 원추의 표면에 원주 방향으로 파괴(fracture)가 일어나기도 한다. 이런 현상은 정상적인 전단 스피닝에서는 거의 발생하지 않는 현상이다. 맨드릴 코너 부위의 원주 방향 파괴를 방지하기 위해서는 원통형 맨드릴의 최소 직경이 있음을 의미한다.

전단 스피닝의 초기 단계에서 일어나는 두께 얇아짐 현상은 성형 롤러의 비 직선 길(path)를 사용하여 점차적으로 변화시켜서 최종 값을 얻도록 하여 방지할 수 있다.

성형 롤러의 움직이는 길을 성형할 제품에 맞도록 정현 법칙을 만족하게 잘 제어할 수 있으면 여러 종류의 축대칭 제품을 성형 롤러와 일반적인 원통형 맨드릴로 성형할 수 있다. 축대칭 원추형 뿐 아니라 반구형(hemisphere)에도

원통형 맨드릴의 성형이 가능하고 이때는 접선 각도가 원을 따라서 점진적으로 감소하게 된다. 어떤 조건에 이르면 플랜지(flange)가 앞쪽으로 굽어지는 경향이 있고 이로 인해 외경이 작아지는 일이 있다.

원추형에서는 과괴나 주름형성에 대한 성형 한계점을 찾는 것이 용이한 편이나 반구형에서는 이 한계점 찾기가 용이하지는 않다.

일반 원통형 맨드릴을 사용하여 원추형의 전단 스피닝에서는 사인 법칙의 두께 변화 등을 현실화 할 수 있었으나 반구형에서는 정확하게 사인 법칙을 따라가기가 쉽지는 않았는데 이것은 주로 스프링 백이 원인이다. 제품 성형과정에서 지지해 주는 맨드릴이 없기 때문에 성형과정 중에 발생하는 스프링 백(spring back)을 감안하는 것도 한 방법이다. 이 가요성 과정으로 다양한 축 대칭 제품에 그리고 소량으로 여러 종류의 배치(batch) 생산에 적용할 수 있다.

4. 학술 정보 분석

ISI Web of Knowledge 플랫폼에서 Web of science를 활용하여 1986년부터 현재(2010.9.27)까지 발표된 금속 스피닝에 관하 학술 정보를 조사하였다. "Metal Spinning"을 제목에서 검색 결과 불과 50편이 검색되었다. 토픽으로 검색한 결과는 1,022편이 검색되어 이를 분석하였다. 미국이 단연 우위를 차지하고 있고 뒤를 이어 독일, 일본 중국 등이 활발하였다.

우리나라의 발표 현황을 알아보기 위하여 25대 국가를 살펴보니 우리나라는 10대 국가 바로 다음인 11번째 이었다. 전 세계적으로 보아 11대 국가에 속한다는 것은 상대적으로 활발한 활동으로 여겨지나 논문의 절대 양을 보면 34편에 불과하다.

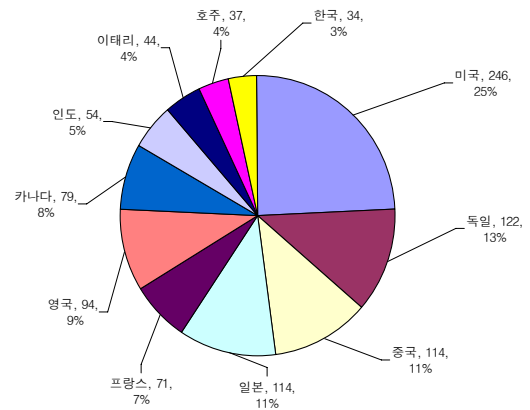


Fig. 3 .Top 11 countries which published articles

5. 결 론

원천적으로 성형될 제품의 형상을 갖는 맨드릴과 같이 발달되어 오던 스피닝 공정이 최근 탈 맨드릴화 하고 있다. 소량 다품종의 개발에는 일반화된 원통형 기본 맨드릴만을 사용하여 여러 형상으로 만들어 가고 있다.

이러한 신기류 기법에서는 금속 소재의 강성(rigidity)과 스프링 백에 대한 연구가 새로운 과제로 떠오르게 된다. 즉 맨드릴 없이 성형된 가공품이 탄성에 의해서 복원된 양을 예측하는 것이 중요해 질 것이고 이를 감안하여 가공하는 것이 이 공정의 요체가 될 것이다.

참 고 문 헌

1. 이태호, "알루미늄 6061의 열처리에 대한 spinnability 연구", 충남대학교 석사 논문, 1980.
2. K. Kawai, L.-N. Yang, H. Kudo, "A flexible shear spinning of truncated conical shells with a general-purpose mandrel", Journal of Materials Processing technology, 113, pp.28~33, 2001