

휠 디스크 스피닝 성형기 개발

강정식*, 강이석**, 이항수***

Development of the Wheel Disc Spinning Machine

Jung -Sik Kang*, E-Sok Kang**, Hang - Soo Lee***

ABSTRACT

The spinning machine has been developed for a bus and truck wheel disc which is manufactured by spinning process method. This machine has the mechanical structure with bed, 2-column, cross head, 2-vertical slide, 2-horizontal slide with forming roller, clamp slide and main spindle similar to large size vertical lathe. Main spindle attached the mandrel is rotated about 500rpm driven by 280kW power DC motor, and a rotating blank material pressed on the mandrel with the clamp slide is spinformed by 2-forming rollers which are attached inner end of the 2-horizontal slides. The 2-vertical and 2-horizontal slides are actuated by the hydraulic cylinder which is controlled by the servo valve individually, and these servo valves are controlled by control signal of the CNC controller which is computed with position signal feedbacked from the encoder sensor. The developed machine can manufacture wheel disc of various section profile without mandrel change because section profile is easily modified using program editing in the CNC controller processor. The wheel disc manufactured by spinning process method has many advantages that the endurance is increased by 2 times and the weight is decreased by 30% compared with a conventional disc.

Key Words : Spinning (스피닝), Spinning Machine(스피닝 성형기), Wheel Disc (휠 디스크), Main Spindle (주축), Mandrel (금형), Horizontal/Vertical Slide(수평/수직 이동축)

1. 서론

휠 디스크 스피닝 성형기(wheel disc spinning machine)는 버스나 트럭등 상용차의 휠에 사용되는 디스크를 회전하는 금형 형상에 따라 압착성형을 수행하는 장비로서 국내 최초로 국산화 개발하였다. 현재 버스 및 트럭용 휠을 생산하고 있는 국내의 업체에서는 세계적으로 안정성을 규정하고 있는 SAE의 최소성능 요구사항 및 안정성 확보뿐만 아니라 갈수록 고속화되어 가는 생산제품의 내구성을 증대시켜 신뢰도를 높여야 한다. 따라서 휠의 생산방법중 특히 휠의 내부에서 림(rim)과 용

접되는 휠 디스크의 생산방법을 프레스 공법에서 스피닝 공법으로 대체하는 것이 최근의 실정이다.

스피닝 공법에 의한 휠 디스크 성형기술은 1982년경부터 그 가능성이 인정되기 시작한 신기술의 하나로서 1987년경에 CNC 제어에 의한 본격적인 생산설비가 개발되었다. 약 5년전부터는 독일, 미국, 일본등의 선진국에서는 스피닝 공법의 휠 디스크를 생산하기 위한 전용 생산장비를 독자적으로 개발하여 내구성이 우수한 스피닝 공법의 휠 디스크를 생산하고 있다.

그러나 현재까지 국내의 휠 생산업체에서는 스피닝 성형장비를 이용하여 디스크를 생산하는

* 한국기계연구원, 충남대학교 대학원

** 충남대학교 기계설계공학과

*** 한라대학교 기계공학과

업체는 전무한 실정으로 스피닝 공법의 휠 디스크를 사용해야 할 경우는 전량 외국에서 수입하여 사용해야 하는 실정이다. 또한 국내에서 외국의 스피닝 성형장비를 수입하여 생산할 경우에는 특수한 전용장비인 관계로 가격이 고가임은 물론 운용상 문제점이 발생하여 사후보수를 받고자 할 때 상당한 어려움을 느끼고 있는 실정이다. 따라서 이러한 장비를 국산화 함으로써 외화절감은 물론 국내의 기술수준을 향상시키기 위해 자체개발할 필요가 있다. 본 연구에서는 스피닝 공법의 기술적 특성과악, 가공력의 계산으로 기계사양의 결정, 공정상의 파라메타 산출, 휠 디스크의 1-pass 스피닝 공정설계를 수행하여 휠 디스크 성형장비를 국산화 개발하였다. Fig. 1 과 2 는 생산된 휠 디스크의 사진과 스피닝 공정도면이고 Fig. 3 은 스피닝 공정의 흐름도이다.

본 논문에서는 개발된 스피닝 성형장비의 주요특징, 스피닝 공법의 소개, 성형장비의 설계/제작에 관하여 기술한다.

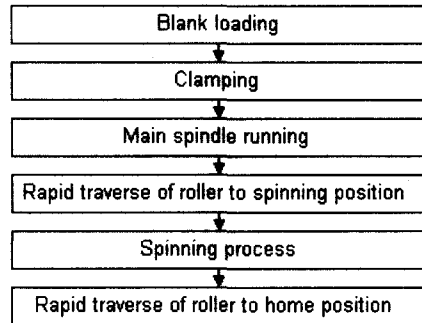


Fig. 3 Flowchart of Spinning Process

2. 스피닝 공법의 소개

회전하는 금형(mandrel)에 소재를 고정시킨 후 회전시키면서 성형롤러나 주걱으로 소재를 금형에 밀어 붙여 금형과 동일한 형상의 제품을 성형하는 가공법이다. Fig. 4 에서는 스피닝 공법을 이용하여 생산된 제품들을 나타내었다.⁽⁶⁾



Fig. 1 Spinned Wheel Disc



Fig. 4 Products using Spinning Method

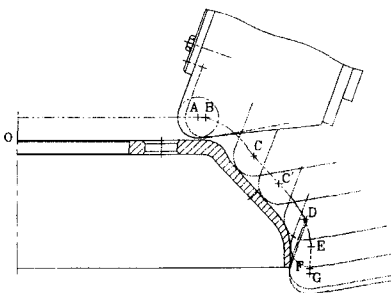


Fig. 2 Spinning drawing of Wheel Disc

스피닝 공법은 컴퓨터를 이용해 원하는 형상을 자유자재로 생산할 수 있으며 연신율이 작은 재료도 성형이 가능하다. 또한 스피닝 과정중 재료의 흐름방향으로 결정립이 배열되어 피로수명이 개선되는 제품특징을 갖으며, 금속유동선(metal flow line)의 발생으로 피로수명, 항복강도, 경도, 인장강도 등 기계적 성질이 개선된다. 따라서 스피닝 공법은 다품종 소량생산에 경제적이거나 특수한 경우 대량생산에도 적합하다. 프레스 공법으로 생산된 휠 디스크는 휠축과 체결될 볼트구멍 부위에서 강도가 약할뿐만 아니라 프레스 작업시 발생하는 평판의 변형에 의해 평면도가 좋지않아 프레스 후 선반작업을 수행해야 하는 공정이 추가되고 있다.

하지만 스피닝 공법은 휠축과 체결되는 볼트구멍 부위를 강하게 압착한 상태에서 성형하므로 초기 소재두께를 유지하는 반면, 림과 용접하기 위해 안쪽으로 프로파일(profile)을 갖는 부위만을 얇게 스피닝 성형하여 생산하는 방법이므로 디스크 외경, 중앙구멍, 볼트구멍 그리고 필요하다면 공기구멍만 가공되면 된다. 스피닝 공법으로 생산된 디스크는 기존 프레스 공법의 디스크에 비해 내구성이 2 배로 증가하고, 중량이 30%줄면서 연비는 0.4% 향상되는 효과를 가진다.

이와 같은 스피닝 종류는 교축스피닝, 전단스피닝, 튜브스피닝으로 분류된다. 교축스피닝은 판재의 직경을 교축시켜 원형단면의 제품을 제작하는 방법으로 이때는 롤의 이동 법칙을 익혀야 한다. 전단스피닝은 원형의 단면을 가진 금형에 소재를 고정하여 회전시키면서 롤러로 밀어 국부적인 전단변형을 연속적으로 발생시켜 축대칭 쉘 제품을 만드는 방법으로 순수 전단변형의 경우에는 전단각도에 따라 두께는 $t_0 \sin \alpha$ 이 되며 소재의 외곽직경의 변화는 없다. 튜브스피닝은 관재를 회전시키면서 롤을 밀어 두께를 줄이고 얇고 긴 관재를 만드는 방법이다.

휠디스크의 제조는 각 단면부의 두께를 조절하지 않는 경우에는 통상적으로 프레스 공법이 사용되며 이는 소재를 냉간상태에서 프레스로 성형하는 방법이며 이를 스피닝 공법을 적용한다면 교축스피닝이 가능하다. 그러나 각 단면부의 두께를 조절해야 하는 경우에는 프레스가공으로는 가열 - 테이퍼롤에 의한 열간압연(판두께 변화시킴) - 트리밍 - 산세처리 - 프레스가공의 복잡한 공정이 요구되어진다. 따라서 이때는 스피닝 공법이 주로 사용되어지며 1 pass 스피닝이 복합스피닝의 응용으로 가능하고, 변형역학적으로 분류하여 교축스피닝, 전단스피닝, 튜브스피닝의 조합된 공정으로 적용된다. 휠 디스크를 이러한 스피닝 공법으로 생산할 경우 보통 1 시간당 약 100 개를 생산가능하여 개당 생산시간(cycle time)은 약 35 초가 소요된다.

실제 휠 디스크 스피닝 가공공정 중에는 전단스피닝이 주로 적용되며 부분적으로 교축스피닝이 부가된 형태이다. 일반적으로 기초검토에 의하면 교축스피닝에서의 가공력은 전단스피닝에 비해 상당히 작은 값을 갖는다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 2 에서 A-B 구간은 교축스피닝이 추가되는 부

분이므로 힘의 계산을 생략하고 부하가 많이 걸리는 C-F 구간에 대하여 가공력을 계산한다. 계산방식은 전단스피닝에 대하여 가공력을 계산한 후 교축스피닝의 추가에 따른 부가가공력에 대한 여유(margin)를 주어 가공력으로 환산하였다.

소재 두께 $t_0 = 14\text{mm}$ 인 소재에 대하여 전단스피닝을 적용할 경우 단순전단 모델에서는

$$P_\theta = t_0 v \cos \alpha \frac{\sigma_m}{\sqrt{3}}$$

으로 표시된다. 여기서 P_θ 는 원주방향의 가공력이며 t_0 는 소재의 두께이다. α 는 반원추각이며 σ_m 은 유동응력(Flow Stress)이다. 이 식은 von -Mises 항복조건에 따른 것으로 $t_0 = 14 \text{ mm}$, $\sigma_m = 52\text{kg/mm}^2$ 를 적용하였다. 이와 같은 단순전단 모델에서는^{(1) (3) (4) (7) (8)} 롤 접촉부에서의 곡면부의 변형을 고려하기가 어렵다. 따라서 곡면부의 변형을 고려하여 $P_\theta = t_0 v \sin \alpha \sigma_m \int d\varepsilon$ 의 식을 도입한다. 여기서

$$\int d\varepsilon = \frac{\cot \alpha}{\sqrt{3}} (v_1 + \sqrt{1 + v_1^2 + v_2^2})$$

으로 표시되는데, v_1, v_2 는 다음과 같다.

$$v_1 = \frac{t_0 \rho_R}{(r_m \theta_m)^2} \left(\frac{1 - \sin \alpha}{\cos \alpha} \right), \quad v_2 = \frac{2\sqrt{1 - m \rho_R}}{r_m \theta_m} \left(\frac{1 - \sin \alpha}{\cos \alpha} \right)$$

θ_m, r_m 은 각각 접촉부에서의 원주방향의 평균접촉각 및 평균반지름을 나타내는 것으로서 $\theta_m = 8.16^\circ = 0.14\text{rad}$ 정도로 하며 r_m 은 위치에 따라 다르다. 위의 식에서 v_2 는 m 에 따라 변하는 수치로서 m 은 0 에서 1 사이의 값을 갖는데 보통은 경험적으로 0.2~0.6 의 값을 취한다.

소재의 두께방향과 롤 진행방향의 가공력을 각각 P_n, P_t 라 했을 때

$$P_n = P_\theta \cot v_\theta$$

$$P_t = P_\theta \cot v_\theta \tan\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\alpha}{2}\right)$$

의 관계를 갖는다. P_θ 는 상대적으로 P_n, P_t 에 비해 매우 작으므로 경험적인 수치인 v_θ 를 도입한 것으로 보통 0.07 근처에서 잘 일치한다고 알려졌다.

반경방향 작용력 P_r 및 축방향 작용력 P_z 는 다음 식으로 나타내어진다.

$$P_r = P_n \cos \alpha_{act} - P_t \sin \alpha_{act}$$

$$P_z = P_n \cos \alpha_{act} + P_t \sin \alpha_{act}$$

여기서 α_{act} 는 실제의 반원추각을 나타낸다.

Table 1 에서 반경방향의 최대 작용력은 약 7.4ton

Table 1. Reaction Force and Power

위치	가공조건		원주방향 작용력(P _θ)[kgf]	반경방향 작용력(P _r)[kgf]	축방향 작용력(P _a)[kgf]	주축의 소요동력[kW]
	롤러코너반 경(ρ _r)	이송속도 (mm/rev)				
C	20	0.6	207-216	1263-1755	2469-3430	45.6-47.5
	20	0.4	138-144	842-1170	1646-2287	30.4-31.7
	15	0.6	198-203	1204-1411	2354-2760	43.5-44.6
	15	0.4	132-135	803-1099	1569-2147	29-29.7
D	20	0.6	252-264	1325-1849	3239-4518	66.9-69.9
	20	0.4	168-176	884-1232	2159-3011	44.6-46.6
	15	0.6	241-248	1266-1736	3094-4243	63.9-65.7
	15	0.4	161-165	844-1158	2063-2829	42.6-43.8
E	20	0.6	370-393	4611-6544	2858-4056	102.1-108.5
	20	0.4	247-262	3074-4363	1906-2704	68.0-72.4
	15	0.6	349-363	4349-6034	2696-3740	96.2-100.1
	15	0.4	232-242	2899-4023	1797-2494	64.2-66.7
F	20	0.6	416-444	5194-7385	3284-4670	115.0-122.5
	20	0.4	278-296	3463-4924	2190-3114	76.6-81.6
	15	0.6	392-408	4891-6795	3093-4297	108.2-112.7
	15	0.4	261-272	3260-4530	2062-2865	72.2-75.1

이므로 안전율 4 이상을 고려하여 설계하중을 table2 와 같이 약 35ton 으로 설계하였다. 소요동력(Power)는 다음 식으로 나타내어지며 소재두께 = 14 mm, Flow stress σ_m=52kg/mm², main spindle rpm = 500 rpm 을 기준으로 계산한 결과는 table 1 에 나타내었다.

$$Power = T\omega = P_{\theta}r_m \frac{2\pi N}{60}$$

3. 개발된 스피닝 성형장비의 개요

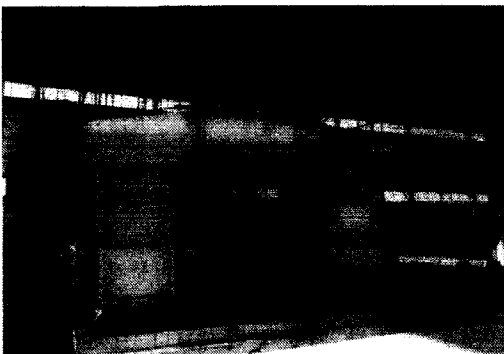


Fig. 5 Developed Spinning M/C

본 연구로 국산화 개발된 스피닝 성형장비는

버스나 트럭 등 상용차의 휠 제작에 사용되는 디스크를 스피닝 공법으로 생산하는 전용기계로서 설계, 제작, 설치 및 시운전은 물론 제품의 성능평가까지 100% 국내기술진에 의해 수행되었으며 현재 제품생산에 직접 사용하고 있다. Fig. 5 는 국산화 개발하여 생산공장에 설치된 스피닝 성형장비의 모습이다.

개발된 스피닝 성형장비는 대형 수직 선반형 태로서 철구조물의 베드는 콘크리트 바닥에 견고하게 고정되고, 베드에는 추축과 베어링 윤활시스템이 설치된다. 상부에 금형이 부착된 주축은 약 350Hp 의 DC 모터로 구동되며 모터는 베드의 후면에 수직으로 부착되어 1750rpm 으로 회전하면서 감속 풀리와 타이밍벨트를 거쳐 주축은 약 500 rpm 으로 회전한다. 베드의 좌우에는 상부의 크로스헤드를 지지하는 칼럼이 철구조물의 박스형태로 설치된다. 칼럼의 상부에는 철구조물의 크로스헤드가 설치되며 크로스헤드에는 제품성형시 소재를 압착하기 위한 크램프 슬라이드(clamp slide)가 설치된다. 한편 좌우 칼럼에는 수평슬라이드(horizontal slide)를 지지하면서 상하로 구동할 수 있는 수직슬라이드(vertical slide)가 LM 가이드(LM-guide)를 따라서 구동되게 구성되어 있다. 금형의 상부에 얹혀진 약 14mm 두께의 성형소재(blank)는

약 30ton 의 유압으로 크램프 슬라이드에 의해 압착된 후 좌우 X-Y 4 축이 유압서보밸브(hydraulic servo valve)로 성형하고자 하는 위치가 자동제어되고 수평슬라이드의 좌우내측에 부착된 2 개의 롤러(roller)에 의해 약 35ton 의 힘으로 압착성형되는 기계이다. Table 2 에 스피닝머신의 사양을 나타내었다.

Table 2. Specification of Spinning M/C

Type	Vertical 2-roller CNC control type
Blank diameter	min 300mm - max. 650 mm
Production rate	30-35 sec
Total weight	약 60 ton
Main spindle speed	Max. 650 rpm
Power of hydraulic unit	약 55 kw
Vertical direction feeding force	35 ton
Radial direction feeding force	35 ton
Clamping force of clamp slide	30 ton
Stroke of vertical direction	350 mm
Stroke of radial direction	350 mm
Stroke of clamp slide	400 mm
Volume of hydraulic tank	1000 liter
Control type	4 axes, CNC control system

유압계통 및 제어시스템은 유압과워서플라이(hydraulic power supply), 서비스 매니폴드(service manifold), 일렉트로닉 컨트롤러(electronic controller), 어큐뮬레이터(accumulator), 유압서보밸브(hydraulic servo valve)로 구성된다. 유압과워유닛(hydraulic power unit)은 기계본체와 별도로 설치하고 유압오일(hydraulic oil)은 자동으로 가열/냉각(heating/cooling)되도록 하였다. 유압서보밸브는 좌우 X-Y 2 축이 동시에 위치와 속도가 CNC 제어기로 동조제어되도록 하였다.

CNC 제어기는 일반 공작기계용으로 4 축 제어가 가능한 컨트롤유닛을 본 장비의 용도에 적합하게 개량하여 사용하였으며 컨트롤유닛, 서보밸브 제어축, 스피들 제어축, 피드백유닛으로 구성된다. 제어시스템은 플랜트(plant)의 제어, 감시, 조작 등

의 프로세스 컨트롤(process control)이 조작반에서 일괄제어되고 모니터에 표시되도록 하였으며 신설되는 통합운전실에서 운용 가능토록 설계하였다.

Table 3. Specification of Hydraulic Unit

Hyd. power unit	Servo system
- 용량 1000 liter	- servo valve : 4 sets
- No 1 pump : 280 kg/cm ² , 70 lpm	- servo amp : 4 sets
- No 2 pump : 210 kg/cm ² , 120 lpm	- position control card : 4 sets
- Pump 구동용 motor, oil 온도 controller, H/P 용 filter, L/P 용 filter	- servo controller : 1set
	- hyd. servo cylinder : 4 sets
	- screw feedback with encoder : 4 sets
Horizontal servo cylinder	Vertical servo cylinder
- Max speed 110mm/sec 공급압력 210 kg/cm ² 35 ton, 350 mm stroke	- Max speed 110mm/sec 공급압력 210 kg/cm ² 35 ton, 350 mm stroke
Clamp slide	
- Max speed 150mm/sec 공급압력 210 kg/cm ² 30ton, 400 mm stroke	

운전 및 감시는 기본적으로 CRT 에 의한 조업관리를 하도록 하였고 제어시스템은 자기진단 기능을 보유하고 Off-line 상태에서 정비 보수가 가능하도록 하였다. 제어시스템은 프로세스 컨트롤 시스템과 로직 컨트롤 시스템(logic control system)으로 구분하여 구성하였으며, 공정별 제어는 오퍼레이터 스테이션(operator station)에서 조작 및 감시를 하며 공급되는 시스템은 사양서에 기재된 하드웨어 및 소프트웨어에 준하여 적절한 장치선정 및 프로세스에 적합하도록 설계하였다. Table 3 은 유압시스템의 제작사양을 나타내었다.

4. 스피닝 성형기의 설계

금형(Mandrel)의 형상은 제품형상을 따르게 되는데 여기서 코너부의 반경이 너무작으면 파단이 발생하므로 너무작지 않게 적당한 값을 선정해야 하며 보통 최소한 재료의 두께보다 크게 선정한다. 대형의 경우 주철을 가공한 후 열처리하여 사용하며 중소형의 경우 합금공구강을 H_{RC} 60-63 으로 열처리하여 사용하며 표면조도는 되도록 좋게 한다.

중가공용 롤(roll)의 전형적인 형태는 Fig. 6 에서 보여주고 있으며 a)의 경우 표준형으로서 교축 스피닝 및 전단스피닝에 주로 사용되며, b)의 경우는 중하중시 사용하고 도피각은 10° 정도로 통상 설계한다

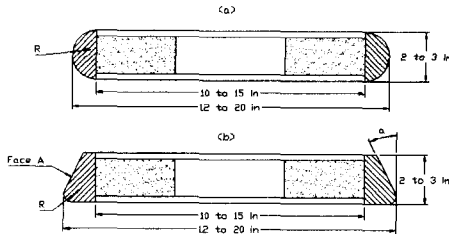


Fig. 6 Basic Shape of Heavy Load Roll

롤은 재질에 있어서 내마모성 및 단가가 중요한 변수이며 생산량 및 제품품질을 검토하여 공구 합금강과 같은 재료에서 선정하는 경우가 많다. 따라서 냉간가공용은 통상 SK2, SK3, SKD11 을 사용하며, 열간가공용은 SKD6 을 사용한다.

롤의 직경 및 코너부 반경은 특별한 제한은 없으나 롤과 소재사이의 압력에 견디어야 하며 기계의 용량과 금형의 형상에 대하여 여러가지 형태로 채용된다. 금형의 직경이 커진다고 롤의 직경을 키울 필요는 없으며 보통은 제품 직경 50-1000mm 에 대하여 $D_R=40-300$ mm 의 값을 선정하는 경우가 많다. 두께가 커지면 부하가 많이 걸리므로 롤의 직경이 커지는 경우가 많은데 이와 같은 중하중용은 복열베어링을 사용하여 롤의 직경이 지나치게 커지는 것을 막는게 좋으며 이때에도 150-300mm 의 범위가 좋다.

코너 반경은 소재의 두께 및 재질과 관련이 많은데 알루미늄 등과 같은 경금속의 경우는 작게 하는 것이 좋으나 이 때에는 이송속도를 키우기 힘들다. 반면에 반경이 커지면 플렌지의 직립도에 영향을 준다. 코너반경은 제품의 표면조도에도 영향을 미친다.

롤의 이송속도는 가공조건 중에서 가장 중요한 것으로 가공력, 가공한계인 주름 및 파단, 제품정도인 면조도-R_s 에 직접적인 영향을 미친다. 강성이 작은기계, 용량이 작은기계, 변형력이 큰 재료에서는 이송속도를 줄이면 가공력이 작아지므로 정밀가공이 가능하다. 정상적인 이송속도의 범위는 0.1-2 mm/rev 으로 성형하고, 화려한 표면조도를

필요로 하는 정삭개념에서는 0.05-0.15mm/rev, 초기가공의 황삭개념에서는 0.7-1.4mm/rev 의 이송속도를 통상 사용한다. 경험적으로 볼 때 0.7 mm/rev 이상에서는 밀착성이 우수하고 0.2 mm/rev 이하에서는 표면은 미려하나 밀착성이 나쁘다. 속도가 커지면 기계의 강성부족 때문에 제품의 두께가 변하는 경우가 발생할 수 있다. 또한 이송용 실린더에 공급되는 유온이 변동하면 이송속도에 변화가 생겨 오동작이 발생할수 있으므로 유온을 일정하게 유지해야 한다.

회전수의 선정에는 분당 회전수(rpm)와 성형가공부의 주속인 $U=\pi D_m N$ 의 개념으로 검토한다. 여기서 D_m 는 소재의 평균 접촉직경을 나타낸다. 문헌상 통상 $U=300-600m/min$ 정도가 좋다고 하며 설명하기는 힘들지만 낮은 속도는 좋지 않다고 한다. 금형 회전수의 선정에는 기계의 동력, 작업시의 안정성, 생산성, 소재 및 제품품질에 대하여 종합적으로 고려해야 하는데, 일본에서는 300 rpm - 1000 rpm 의 범위에서 많이 사용하며 500 rpm 근처가 가장 좋다고 판단하고 있고, 주속으로 선정시 $U= 500-1130m/min$ 의 범위에서 많이 선정하고 있다. 주속은 제품의 표면상태에도 영향을 미치므로 되도록 일정하게 하는 것이 좋으며, 롤의 이송속도가 성형의 가부에 영향을 미치므로 생산성을 높이기 위해서는 회전수를 높이는 것이 유리하다. 이송속도 일정시 회전수를 키우면 회전당 이송량이 작아지므로 가공력이 작아지게 된다. 또한 회전 주속을 높이면 윤활효과가 커지는 특징도 있다.

기본적인 세가지의 스피닝 방법에 대하여 가공성은 소성변형의 특징과 관련하여 한계교축비, 판두께감소율등으로 구분하여 나타낼 수 있는데 이는 가공조건 뿐 아니라 소재의 물성치에도 관련이 많다. 스피닝에서의 결합요소 즉, 성형 도중의 파단현상이나 주름발생에 대하여 소재의 소성역학적 특성인 연신율, 항복강도, 인장강도, 가공경화지수, 이방성계수등은 소재형상인 직경, 두께와 각종 가공조건인 소재의 회전수, 롤의 직경, 롤의 코너반경, 회전당 이송속도등과 함께 성형한계에 영향을 미친다.

개발된 스피닝 성형장비의 주요 구성품인 베드 (bed)는 모든 부품들이 고정되며, 운용될 때 발생하는 하중과 처짐에 대해 충분한 강도를 가지도록 용접구조물로 제작하였다. 베드에는 메인스핀들 (main spindle), 금형, 베어링(bearing), 컬럼이 설치

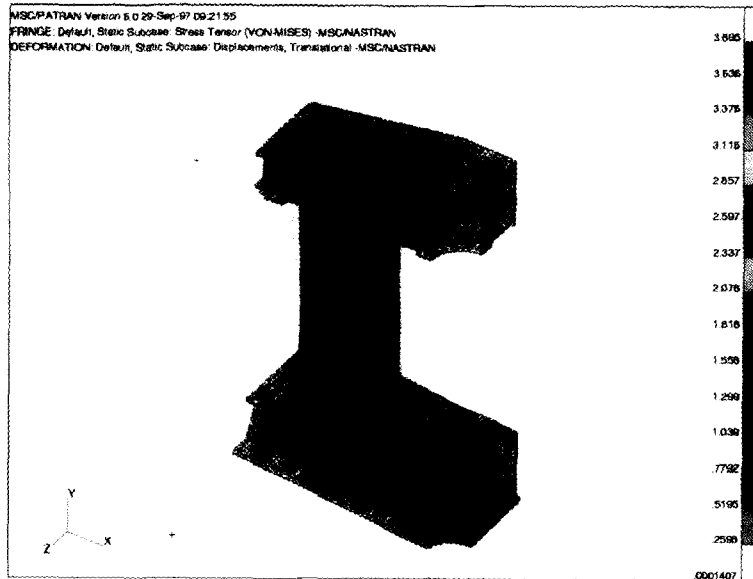


Fig. 7 Stress of Main Body(bed, column, cross head)

되고 이 컬럼 속에는 수평, 수직슬라이드가 각각 설치된다. Fig. 7은 베드, 컬럼, 크로스헤드(cross-head)의 응력분포를 나타낸다. 이와 같이 구조해석을 수행하여 공정제어에 영향이 없도록 휠 디스크의 가공공차인 직경 $\pm 0.2\text{mm}$ 보다 변형이 적고, 안전율 4를 고려한 구조물의 응력이 10 kg/cm^2 이하가 되도록 설계하였다.

메인스핀들은 약 350마력의 모터로 부터 구동되며 위에는 금형과 디스크방출기가 설치된다. 메인스핀들 베어링은 크로스헤드로 부터 커다란 축방향 압착력에 견딜수 있도록 견고한 스러스트 롤러 베어링(thrust/roller bearing)이 설치된다. 롤러 베어링내부는 항상 기름에 담겨져 있도록 제작하였으며 메인스핀들은 직경 약 350mm의 원통형으로 정밀 연마가공하여 설치하였다.

크램프 슬라이드는 크로스헤드에 설치되며, 크로스헤드는 견고한 용접구조물로 제작되어 컬럼을 통해 베드위에 설치된다. 컬럼은 진동에 강하면서 제품의 크기를 작게 제작할 수 있도록 견고하고저점에 강한 구조물로 제작하였다. 크램프슬라이드의 압력헤드(pressure head)에는 견고한 스러스트 롤러베어링이 내장되고, 베어링은 항상 기름에 잠겨있도록 하였다.

수직슬라이드는 180도 간격으로 2지점에서

상자형 용접구조물로 제작하며 4지점이 LM 가이드로 지지되어 하중에 대해 처짐이 없도록 견고하게 제작하였다. 수직슬라이드는 유압실린더로 구동되며 견고한 컬럼안에서 상하이동되고 엔코더(encoder)로 이동위치를 측정하여 제어기로 피드백(feedback)한다.

수평슬라이드는 원형으로 제작되었으며 양 끝단의 메탈부쉬(metal bush)안에서 수평방향으로 움직인다. 수평슬라이드도 역시 유압서보실린더로 구동되며, 엔코더로 이동위치를 측정하여 제어기로 피드백한다. 한편 2개의 스피닝 롤러는 금형의 회전속도에 따라 동일하게 아이들(idle)로 회전된다. (2) (5) (9) (10)

5. 결론

본 연구로 스피닝 성형장비를 국산화함으로써 스피닝공법을 이용한 중대형 휠디스크의 생산기술 확보 및 스피닝기술 응용이 가능하게 되었으며 생산장비의 국산화로 신속한 문제점 해결 및 성능개선이 용이하게 되었다. 본 연구개발로 중대형은 물론 소형 휠디스크 스피닝장비의 개발에 100%적용이 가능하게 되었으며, 유압시스템을 활용한 대형 공작기계의 국산화도 가능하게 되었다. 한편, 세계적인 성능지향 경향에 따라 국내의 휠 생산업

체에서도 외국에 수출되는 상용차는 물론 국내의 고급상용차의 경우 스피닝공법으로 생산된 디스크를 일본 등으로부터 전량 수입하여 사용하고 있으나 이번에 개발된 장비를 생산현장에 설치하여 대량생산에 활용할 수 있게 되었다.

이로써 기존에는 전량수입에 의존하던 상용차용 휠 디스크를 국내에서 수입가격의 약 40%로 생산가능하게 되어 향후 연간 20 억원의 수입대체 효과를 기대할 수 있게 되었다. 더 나아가 외국에서 수입하던 스피닝 휠 디스크의 국내수요는 물론 외국으로 수출도 지향할수 있게 되었다.

후 기

본 연구는 ㈜현대정공의 개발의뢰에 의해 공동으로 개발되었음을 첨언합니다.

참고문헌

1. M. Hayama and T. Murota, "Study of shear spinning," 일본기계학회논문집, pp. 1458, 1964.
2. Prof. G. Oehler, Dusseldorf, "Metal Spinning and Flow Forming," AUTOSPIN INC.,.
3. Serope Kalpakolou, "A Study of Shear Spinnability of Metals," Journal of Engineering for Industry, p478, May, 1961.
4. B. N. Golding, "Shear Spinning," ASME publish, paper number 59-PROD-2, 1967.
5. PRODUCT. ENGINEER Vol. 61, No. 5, p.19, 1982.
6. Faulhaber, Joerg, IPE International, Industrial & Production Engineering Vol. 11, No. 2, Jul. p28-30, 1987.
7. A.H. Shabaik, "A Theoretical Method for the Analysis of Metal-Working Problems," Journal of Engineering for Industry, p 348 , May, 1968.
8. Serope Kalpakolou, "On the Mechanics of Shear Spinning," Journal of Engineering for Industry, May, p 125, 1961.
9. "High Efficiency Automatic Metal Spin-forming Machine," LEICO AUTOSPIN, Model as 12.40-600-1500 CNC.
10. "MFM Electrologic," VSM 2-20/5 CNC #1136, February 2, 1995.