

## 로터리 스웨이징 공정의 성형성 연구

임성주\*, 윤덕재, 나경환  
한국생산기술연구원, 소성가공연구팀

### The Forming Characteristic of Rotary Swaging Process

S. J. Lim\*, D. J. Yoon, N. H. Na  
Advanced Metal Forming Team  
Korea Institute of Industrial Technology

#### Abstract

Rotary swaging is a process for reducing the cross-sectional area or changing the shape of bar, tube or wires by repeated radial blows with one or more pairs of opposed dies. The present study is concerned with investigation the effect of process parameters upon product quality(hardness, roughness, precision of dimension). To enhance the product quality, experimental works are carried out for some process parameters such as forming speed, billet shape, lubrication, reduction of area and ratio of  $t/D$ . Rod shift formed by RSM25 under cold conditions has good surface quality, hardness and precision of dimension. The recommendable process conditions are suggested for solid and tubular products.

**Key words** : Radial blows, Rotary swaging

#### 1. 서론

최근 기계산업은 급속도로 진보하고 있으며 각 부품들도 고기능화되어 복잡해지는 추세로 가격 경쟁도 한층더 심화되어 가고있다. 금속성형(Metal forming)에 있어서도 제품의 경량화, 품질고급화 및 원가절감 추세에 따라 복잡한 부품들을 어떻게 하면 한층더 저 가격으로 생산하느냐에 중점을 두고 있는 추세이다. 특히 자동차 생산 관련 업체는 차량 무게로 인한 연비의 향상을 위하여 기존의 봉재 부품을 관재로 대체하려는 추세에 있다. 따라서 기존의 생산 방식에 의하여 생산되고 있는 자동차 부품 및 기계부품 등의 기계적 성질과 생산성 향상을 위하여 새로운 공정개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[1][7]</sup>.

이와 같이 신공정 개발이 다각화됨에 따라 여러 가지 공정들이 새롭게 주목받고 있으며, 그 중에 점진성형 공정(Increment forming process)은 현재 가장 주목받고 있는 금속성형공정 중의 한 공정이다. 점진성형 공정중에서 스웨이징(Swaging)공정은 봉재(Bar), 튜브(Tube), 와이어(Wire)등의 단면 형상을 변화시켜서 여러 가지 형태의 제품을 생산하는 비절삭 금속성형(Chipless metal forming process) 공정으로 원형, 사각형, 테이퍼 등의 형상을 갖는 제품의 대량생산에 매우 경제적이며, 설비비가 저렴하고 구조가 간단하기 때문에 비숙련자도 작업이 용이하다.<sup>[1][2][7]</sup> 또한 원소재의 칩

발생이 거의 없기 때문에 소재의 절감 효과가 크고, 소재의 형상과 재질에 따라서 다소 차이가 있기는 하지만 생산성이 매우 높다. 그리고 비철금속(Non-ferrous) 등의 재질도 적용이 가능하고 열간 및 냉간 성형도 가능하다. 성형된 소재의 금속조직은 섬유조직(Fiber Structure)의 형태를 갖기 때문에 원소재보다 기계적성질(표면경도, 탄성한계, 인장강도, 압축강도 및 굽힘강도)이 향상된다. 그리고 금형의 가공정도에 따라 절삭가공에서 얻을 수 없는 제품의 치수정밀도( $\pm 0.02 \sim 0.2$ )와 표면 조도(Surface roughness)등이 우수한 제품을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있으며, 정밀한 제품을 저렴한 가격으로 생산할 수 있는 우수한 공정으로 인정받아 꾸준히 연구 개발되어 왔다.<sup>[1][2][4]</sup>

스웨이징 공정에 대한 국내 기술 수준은 전량 수입에 의존하고 있어 가격 경쟁력을 상실하고 있으며, 스웨이징 공정의 성형특성에 관한 자료는 매우 미비한 상태이기 때문에 차세대에 각광받을 신소재 응용 공정개발은 엄두도 내지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구진은 축대칭 원형제품과 축대칭 비원형 제품(육각, 팔각형상, 사각형상, 타원형상 및 십자형상)을 생산할 수 있는 외륜 회전형 로터리 스웨이징 기계(Rotary swaging machine with outer spindle Rotor : RSM25)와 금형을 개발한 바 있다.<sup>[6]</sup>

본 논문에서는 기 개발된 스웨이징 장치와 금형을 이용하여 실제 시제품(그림1)인 로드 씨프트(Rod shift)제품 생산을 통하여 스웨이징 성형시 제품의 품질에 영향을 주리라 예상되는 성형속도(Forming speed), 두께 대 직경비( $t/D$ ), 성형 소재의 종류(튜브, 봉재), 단면 감소율, 등의 공정변수가 성형된 제품의 치수정밀도, 두께의 변화, 경도의 증가, 표면정도, 등에 어떠한 영향을 주는지 실험을 통하여 스웨이징 공정을 통한 양질의 제품을 얻을 수 있는 가능성을 제시하였다.

## 2. 스웨이징 공정

개발된 스웨이징 장치의 외관은 그림2와 같이 회전하는 스피들(Spindle)과 금형(Die)에 직접적으로 성형력(Radial Force)을 전달하는 롤러(Roller)와 햄머(Hammer)로서 구성되며 기계 사양은 표1과 같다. 롤러는 12개로서 외륜스핀들(Outer Spindle)과 내륜스핀들(Inner Spindle) 사이에 위치하며 스피들 회전에 의하여 발생하는 성형 스트로크를 햄머에 전달하는 역할을 한다. 햄머는(Backer 라고도 함) 롤러 안쪽에 위치하며 반경(Radial) 방향으로 축 중심을 향하여 금형과 함께 일정한 스트로크를 갖는 구조로 되어있다.<sup>[3][6]</sup> 성형 원리는 스피들과 롤러의 상대적인 회전운동 의하여 그림3과 같이 금형과 햄머가 열렸다(Opening) 닫혔다(Closeing)를 반복적으로 하게된다. 이때 롤러가 햄머의 상사점과 하사점을 통과하여 햄머에 일정한 이동거리(Stroke)를 주게된다. 이 햄머의 이동거리만큼 서로 마주보고있는 금형은 축중심을 향하여 반경방향의 타격(Radial blows)을 유발하게 된다. 이때 성형소재를 금형내로 전진시키면 점진적으로성형이 이루어진다. 금형 설계시 금형의 형상은 제품의 형상대로 가공을 하는 것이 일반적이나 스웨이징 공정에서는 튜브의 성형시 소재의 유동이 주로 반경방향으로 일어나기 때문에<sup>[2][3][5]</sup> 제품 치수와 금형 치수가 동일하면 성형중 성형소재에 상처 및 흠집이 생길 수 있다. 또한 금형에 과부하가 발생하여 금형이 파손되는 경우도 있다.<sup>[1][2]</sup> 따라서 금형강도를 유지할 수 있는 범위내에서 금형 전반에 걸쳐 측면여유(Side clearamce)를 주어 점진적으로 성형이 이루어지도록 하였다. 실험을 통하여 살펴본 결과 측면여유와 윤활제 사용 유무에 따라 제품의 표면 조도가 매우 다르게 나타남을 확인할 수 있었다. 설계 제작된 금형은 4금형 형태(Four-split die)로 그림4와 같다

### 3. 실험

스웨이징 공정의 성형성에 관한 주요 공정변수를 표2와 같이 선별하였다. 성형 소재는 시판되고있는 일반소재로 길이를 500mm로 하여 양쪽 끝단은 기계 가공을 하였다. 본 실험에 적용된 장비는 축대칭 비원형 제품과 원형제품의 성형도 가능하도록 설계·제작된 외륜 구동형 스웨이징 기계로서 소재이송장치가 장착되어 있다. 성형 소재는 1회전당 성형속도 조정이 가능한 이송장치에 의하여 급형 속도로 장입되어 성형이 된다. 그리고 성형이 진행되는 동안 성형 부위는 비수용성 절삭유를 계속적으로 공급하였다. 스웨이징 성형시 절삭유는 소음완화 및 성형시 마찰을 감소시켜 발생하는 열의 발생을 억제할 뿐만 아니라 성형되는 제품 표면이 검게 타는 것을 방지시키고 성형면의 광택을 유지시키는데 필수적이다.

### 4. 결과 및 고찰

튜브의 성형후 경도값의 분포상태는 표3과 같이 성형전 (X-X')보다 (Y-Y') 증가한 것을 볼 수 있으며, 또한 소재 중심쪽으로 갈수록 큰 차이는 아니지만 경도값이 증가하는 현상을 볼 수 있다. 이것은 성형시 단면적이 감소하면서 직경이 작아지기 때문에 외부보다 내부쪽에서 성형소재의 압축량이 증가하기 때문이라 판단된다. 마찬가지로 환봉재 경우에도 중심부에서 경도값이 증가되는 경향을 보였다. 그리고 표면 거칠기도 표3에서와 같이 원소재보다 한층 매끄러운 표면조도를 나타냄을 확인 할 수 있었다. 그림5는 생산된 제품을 보여주고 있다.

#### 4-1 경도 변화

표4는 튜브재를 성형한 경우로 단면감소율과 성형속도에 따른 표면경도 및 두께의 변화를 나타내고 있다. 단면감소율이 증가할수록 경도값이 증가함을 볼 수 있다. 단면감소율 78%에서는 성형전보다 경도값이 58.7%까지 증가함을 보여주고 있다. 그리고 성형속도 변화에 따른 경도값은 성형전보다는 증가하였으나, 증가폭의 변화가 별로 없음을 볼 수 있다. 즉 성형속도에 의한 경도값의 증가는 단면감소율에 의한 증가량보다 작은 것을 볼 수 있다. 표5는 환봉재를 성형한 경우의 경도변화를 보여주고 있으며, 단면변화율이 64%, 30%인 두경우와 성형속도가 0.5~2.0mm/rev 범위에서 실험한 결과를 나타내고 있다. 성형속도에 따라 경도값의 변화에 약간의 차이를 보이고 있지만, 환봉의 경우도 튜브의 경우와 마찬가지로 성형속도에 의한 경도값의 증가보다는 단면감소율에 따른 증가폭이 훨씬 크게 나타냄을 볼 수 있다.

#### 4-2 치수정밀도

표6은 튜브재와 환봉재를 성형한 경우로 성형속도 및 단면감소율의 변화에 따른 치수정밀도를 보여주고 있다. 튜브재의 경우 성형속도 변화에 의한 치수변화 차이는 크지 않지만, 성형속도 0.5mm/rev에서 요구된 치수인  $\phi 9\text{mm}$ 에 가장 근접한 값을 나타내고 있으며, 2.0mm/rev에서 가장 큰 치수 차이를 보이고 있다. 따라서 성형속도가 작을수록 치수 차가 실제치수에 근접하는 경향을 나타내고 있다. 또한 단면감소율이 증가할수록 치수 차이가 크게 나타남을 볼 수 있다. 단면감소율이 48%인 경우는 마이너스 현상을 보이고 있으며, 치수 차가 크게 나타나고 있다. 68% 이상은 거의 유사한 치수를 나타내고 있다. 대체적으로 48%를 제외하고는 최대치와 최소치

의 치수 차가 0.06 범위내에 있는 것을 볼 수 있다. 환봉재를 성형한 경우도 성형 속도에 의한 영향은 0.5mm/rev 범위에서 가장 치수 차가 작고 1.0mm/rev 이상부터는 거의 유사한 현상을 보여주고 있다. 이에 비하여 단면감소율 증가 함에 따라 치수 차가 최대 0.2까지 나타남을 볼 수 있다. 이 결과로 보아 환봉재의 경우는 튜브재 성형에 비하여 정밀도가 상당히 떨어지는 것을 알 수 있다. 그 이유는 튜브재는 속이 빈 중공 재료이므로 성형이 진행되는 동안 소재흐름(Metul Flow)의 구속력 없이 반경 방향으로 흐름이 자유롭기 때문이며, 환봉재의 경우는 속이 중실이므로 외부 성형력에 의한 탄성과 소재의 저항력이 작용하고 있기 때문이라 판단된다. 따라서 환봉재의 경우는 작은 단면 변화율과 성형속도로 여러번에 걸쳐 성형하거나 금형을 미리 성형치수보다 작게하여 설계하는 것이 바람직하다고 사료된다. 그리고 성형속도를 너무 빠르게 하거나 성형소재 외경과 가이드부시 내경과 틈새가 너무 크게되면 성형품이 금형과 금형 틈새로 끼워 들어가 그림6과 같이 불량해지는 경우가 있다. 그러므로 치수정밀도 면에서나 기계진동 상태를 감안할 경우 성형속도는 0.5~1.0mm/rev범위가 좋다고 판단된다.

### 4-3 두께 변화

표4는 단면감소율이 78%이고, 성형속도 변화에 의한 성형전후 튜브의 두께변화 관계를 보여주고 있다. 성형속도에 의한 영향은 작았으며, 성형전 보다 약48~57% 정도 두께 증가율을 보였다.

### 4-4 튜브 두께 대 직경비(t/D) 및 단면 감소율의 관계

표7은 튜브 두께 대 직경비와, 단면 감소율에 따른 제품의 성형 상태를 실험한 것이다. 표에서와 같이 단면감소율이 25~75% 이고, 두께 대 직경비(t/D)가 1/10인 조건에서는 제품의 표면과 형상이 양호한 제품을 얻을 수 있었으나, 두께 대 직경비(t/D)가 1/10이상의 경우는, 그림7과 같이 제품의 표면에 주름(Wrinking)이 발생하고 길이 방향으로 찢어짐과 균열이 발생하였다. 따라서 이런 조건 이상에서 성형을 하는 경우에는 맨드렐을 사용하여 성형하는 것이 바람직하다고 판단된다.

## 5. 결 론

지금까지의 제한된 실험을 통하여 얻은 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

- [1] 경도값의 증가는 성형속도에 비하여 단면 감소율의 증가에 따라 증가하는 경향을 보였다
- [2] 튜브재를 성형하는 경우 성형후 단면부에서 경도값의 분포는 외부쪽 보다는 내부쪽에서 높은 경향을 보였으며, 환봉재의 경우도 외부쪽 보다는 중심부에서 높은 경향을 보였다.
- [3] 튜브재를 성형하는 경우, 두께의 변화는 성형전보다 증가하는 현상을 보였다.
- [4] 튜브성형시 성형전 두께 대 직경비가(t/D) 1/10이고, 단면 감소율이 25%~75%인 범위에서는 양질의 제품을 기대할 수 있었으나, 그 이상의 조건에서는 주름진 불량제품이 생산되었다. 따라서 이런 조건에서 양질의 제품을 얻기 위해서는 맨드렐(Mandrel)을 사용하거나, 또는 맨드렐을 사용하지 않고 성형하는 경우에는 1/10 이하에서 성형하는 것이 좋다고 판단된다
- [5] 제품의 외경과 가이드부시의 내경 틈새가 지나치게 크면 제품의 가이드 상태가

좋지 않아 튜브재건 환봉재건 급형에 끼는 현상을 보였다.

[6] 외륜회전형 스웨이징 기계개발과 현재 자동차에 장착되어 사용중인 로드 시프트(Rod shift) 제품을 성형할 수 있는 4분할 형태의 급형을 설계 제작하여 성형성 실험을 수행한 결과 치수정밀도, 경도, 표면조도 등 기계적 성질이 향상된 제품을 얻을 수 있었으며, 또한 기존의 생산방식중 용접 공정을 배제함으로써 원가 절감 및 생산성 향상시킬 수 있는 가능성을 제시하였다.

### 참고문헌

- [1] R. S. Dusseau, J. D. Bryzge, Tool and Manufacturing Engineers Handbook, Chap. 14, "Swaging", SME, Vol. 2(Forming), pp. 14.1~14.21.
- [2] ASM.Metals Handbook, Forming, 1969, "Rotary Swaging of Bar and Tubes", Vol. 4, pp. 333~346.
- [3] Serope Kalpakjian, 1966, "Dimensional Changes in Tube Swaging" J. of Engineering for Industry Transactions of the ASM. V.88, N.2, pp.147~150.
- [4] Romed L. Suffredini, 1963, "How Swaging affects Mechanical properties of steel", Metal progress, pp. 109~120.
- [5] W. G. Ovens, E. L. Bartholomew, R. R. Biederman, 1976, "Metal flow two-die Swaging," J. of Engineering for Industry Transactions of the ASM. Vol. 98, No. 4, pp. 1121~1124.
- [6] 나정환, 임성주의7명, 1996, "Outer Rotor형 Rotary Swaging Machine" 개발보고서, 생산기술연구원.
- [7] Dr. Bernhard Muller, "Application of rotary swaging for the economical production of lightweight components, mainly for the car industry." HMP umformetechnik, pp.1~5.

Table 1 Specification of rotary swaging M/C with outer spindle rotor

Classification		Spec.
Reduction (ΔA:%)	Tube	75
	Solid	60
Roller Part	Number of roller	12
Hammer and Die Part	Number of hammer and die	4
Power Supply Part	Motor Power	15Kw
Number of blow	Blows/min	2775
Cycle of blow	sec	0.02
Weight (Ton)		5

Table 2 Process parameter

Parametwrs	Value	Parametwrs	Value
Tube (SKTM11A)	φ 19.1	Solid (SM45C)	φ 15.0
	φ 17.4		φ 12.1
	φ 15.8		φ 10.7
	φ 12.5	0.5	
(Tube) Ratio of thickness/Dim	1/10	Forming speed (mm/rev)	1.0
	1/20		1.5
	1/30		2.0

Table 3 Hardness and surface roughness of products before and after forming

Measurement point (mm)	Hardness(Hv)		Surface roughness (R <sub>MAX</sub> )µm
	Before (X-X')	After (Y-Y')	
0.5	125	171	Before: 6.328 After: 2.086
1.0	124	177	
1.5	129	181	
2.0	138	190	
2.5	-	194	
3.0	-	197	
Tube : SKTM11A, Forming speed : 1.5 mm/rev, Reduction of area =78%,			

Table 4 Hardness and thickness of products for the different forming speed and reduction of area

Forming speed (mm/rev)	Surface hardness(Hv)		Increase of hardness (%)	Thickness (mm)		Increase of thickness (%)	Reduction of area(%)	Surface hardness(Hv)		Increase of hardness (%)
	Before	After		Before	After			Before	After	
0.5	213	290	36.2	2.41	3.78	56.85	48	224	234	4.46
1.0	206	288	39.8	2.42	3.62	49.59	68	246	266	8.13
1.5	201	277	37.8	2.33	3.51	50.64	74	206	288	39.8
2.0	202	274	35.6	2.34	3.47	48.29	78	155	246	58.7
Reduction of area:74%				Reduction of area : 78%			Forming speed: 1.0mm/rev			
Tube : SKTM11A										

Table 5 Hardness of products for the different forming speed and reduction of area

Forming speed (mm/rev)	Reduction of area(%)	Surface hardness(Hv)		Increase of hardness (%)	Reduction of area(%)	Surface hardness(Hv)		Increase of hardness (%)
		Before	After			Before	After	
0.5	64%	257	353	37.4	30%	253	287	13.4
1.0		280	378	35.0		255	299	17.3
1.5		254	338	33.1		285	315	10.5
2.0		270	382	41.5		283	338	19.4
Solid bar :SM45C								

Table 6 Dimension precision of products for the different forming speed and reduction of area

Forming speed (mm/rev)	Reduction of area(%)					
	78	74	68	48	30	64
0.5	- 0.021	+0.048	+0.025	-0.075	+0.037	+0.168
1.0	+0.024	+0.064	+0.069	-0.007	+0.110	+0.230
1.5	+0.023	+0.054	+0.052	-0.002	+0.126	+0.242
2.0	+0.029	+0.078	+0.085	+0.033	+0.150	+0.245
Tube: SKTM11A					SM45C	

Table 7 Product quality for the ratio of thickness to diameter

Reduction of area (%)	Thickness/Diameter		
	1/10	1/20	1/30
25	Good Quality	wrinking	wrinking
50	Good Quality	wrinking	wrinking
75	Good Quality	wrinking	wrinking
Forming speed : 1.0mm/rev. Tube: SKTM11A			

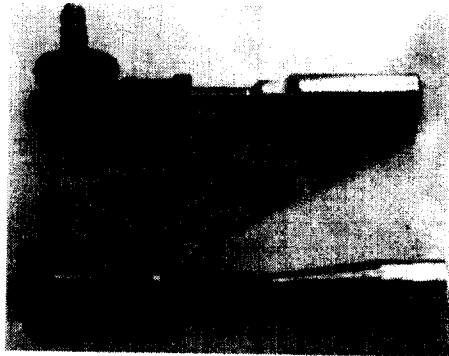


Fig.1 Comparison between the rotary swaged product and welded product (Rod shift)

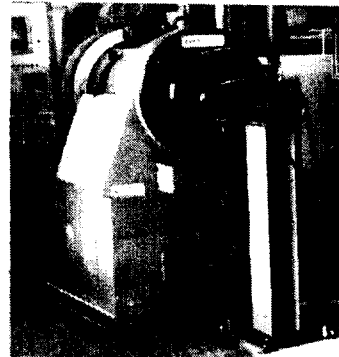


Fig.2 Rotary swaging machine with outer spindle rotor

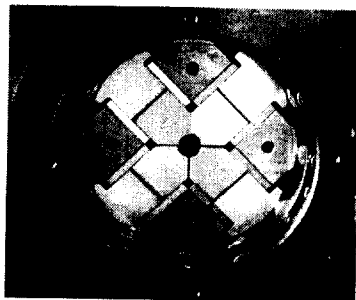


Fig.3 Head assembly

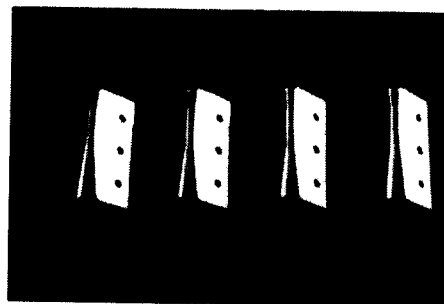


Fig.4 Four-split die of RSM25

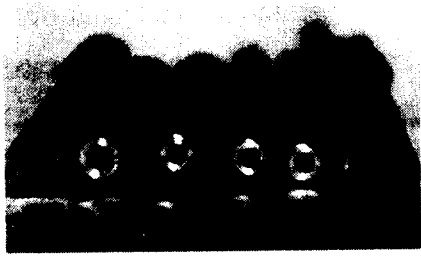


Fig.5 Example of products

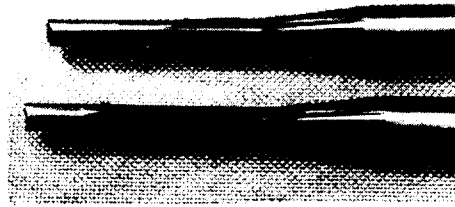


Table 6 Example of defective products

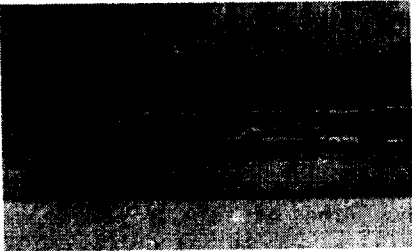
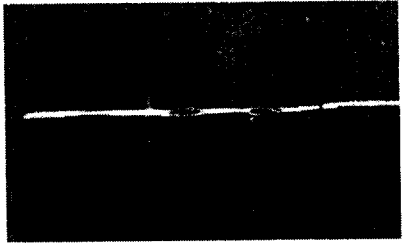
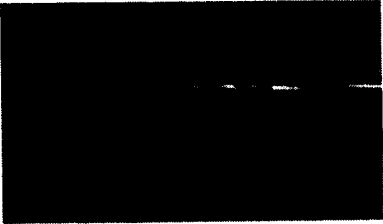
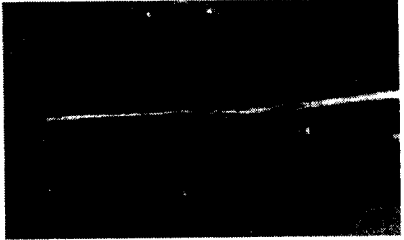
$\Delta A = 25\%$ $t/D = 1/20$	$\Delta A = 25\%$ $t/D = 1/30$
	
$\Delta A = 50\%$ $t/D = 1/20$	$\Delta A = 75\%$ $t/D = 1/30$
	

Fig.7 Example of defects for the ratio of thickness to diameter