

로터리 스웨이징 공정의 성형성 연구

임성주* · 윤덕재* · 나경환*

(1998년 4월 27일 접수)

The Forming Characteristic of Rotary Swaging Process.

S. J. Lim, D. J. Yoon and K. H. Na

Abstract

The process variables, i.e. the speed of forming, the ratio of thickness to diameter, the shape of formed materials and the reduction of area were selected in order to study the process of the rotary swaging. It was found that the process variables affected the quality of products, i.e. the hardness, the surface roughness and the degree of precision of products. Variation of hardness in deformed samples was mainly dependent on the reduction of area. Upon forming tubes, applying the t/D ratio higher than $1/10$ led to the formation of defects on products which may be reduced by application of mandrels.

Key Words : Rotary Swaging

1. 서 론

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 생산할 수 있는가에 중점을 두고 있는 추세이다. 특히 자동차 생산 관련 업체는 차량 무게로 인한 연비의 향상을 위하여 기존의 봉재 부품을 관재로 대처하려는 추세에 있다. 따라서 기존의 생산 방식에 의하여 생산되고 있는 자동차부품 및 기계부품 등의 기계적 성질과 생산성 향상을 위하여 새로운 공정개발에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.⁽¹⁾⁽⁷⁾

이와 같이 신 공정 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 공정 중에서 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.⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁷⁾ 또한 원소재의 칩 발생이 거의 없기 때문에 소재의 절감 효과가 크고, 소재의 형상과 재질에 따라서 다소 차이가 있기는 하지만 생산성이 매우높다. 그리고 비철금속(Non-ferrous) 등의 재질도 적용이 가능하고 열간 및 냉간 성형도 가능하다. 성형된 소재의 금속조직은 섬유조직(Fiber Structure)의 형태를 갖기 때문에 원소재보다 기계적 성질(표면경도, 탄성한계, 인장강도, 압축

* 한국생산기술연구원 소성가공연구팀

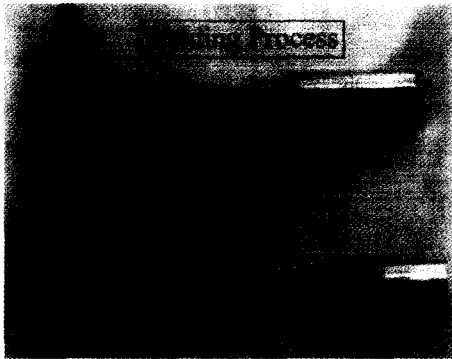


Fig. 1 Comparison between the rotary swaged product and welded product (Rod shift)



Fig. 2 Rotary swaging machine with outer spindle rotor

강도 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 양질의 제품을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있으며, 정밀한 제품을 저렴한 가격으로 생산할 수 있는 우수한 공정으로 인정받아 꾸준히 연구 개발되어 왔다.⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁴⁾

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 업두도 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.⁽⁶⁾

본 논문에서는 기 개발된 스웨이징 장치와 금형을 이용하여 실제 시제품(Fig.1)인 로드 시프트(Rod shift)제품 생산을 통하여 스웨이징 성형시 제품의 품질에 영향을 미치는 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 스웨이징 성형 실험을 통하여, 양질의 제품을 얻을 수 있는 가능성을 제시하였다.

2. 스웨이징 공정

개발된 스웨이징 장치의 외관은 Fig. 2와 같이 회전하

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
Cycle of blow	sec	0.02
Weight (Ton)		5

는 스피들(Spindle)과 금형(Die)에 직접적으로 성형력(Radial Force)을 전달하는 롤러(Roller)와 해머(Hammer)로서 구성되며 기계 사양은 Table 1과 같다. 롤러는 12개로서 외륜스피들(Outer Spindle)과 내륜스피들(Inner Spindle) 사이에 위치하며 스피들 회전에 의하여 발생하는 성형 스트로크를 해머에 전달하는 역할을 한다. 해머는(Backer 라고도 함) 롤러 안쪽에 위치하며 반경(radial) 방향으로 축 중심을 향하여 금형과 함께 일정한 스트로크를 갖는 구조로 되어있다.⁽³⁾⁽⁶⁾ 성형 원리는 스피들과 롤러의 상대적인 회전운동 의하여 Fig. 3과 같이 금형과 해머가 열렸다(Opening) 닫혔다(Closeing)를 반복적으로 하게된다. 이때 롤러가 해머의 상사점과 하사점을 통과하여 해머에 일정한 이동거리(Stroke)를 주게된다. 이해머의 이동거리만큼 서로 마주보고 있는 금형은 축중심을 향하여 반경방향의 타격(Radial blows)을 유발하게 된다. 이때 성형소재를 금형내로 전진시키면 점진적으로

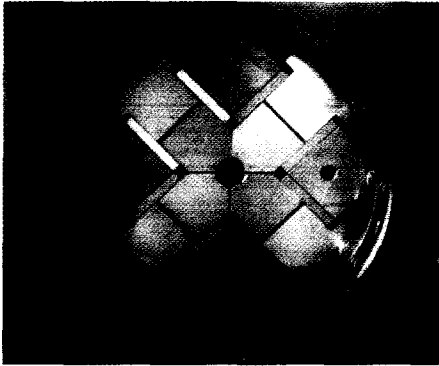


Fig. 3 Head assembly



Fig. 4 Four-split die of RSM25

성형이 이루어진다. 금형 설계시 금형의 형상은 제품의 형상대로 가공을 하는 것이 일반적이나, 스웨이징 공정에서는 튜브의 성형시 소재의 유동이 주로 반경방향으로 일어나기 때문에⁽²⁾⁽³⁾⁽⁵⁾ 제품 치수와 금형 치수가 동일하면 성형 중 성형소재에 상처 및 흠집이 생길 수 있다. 또한 금형에 과부하가 발생하여 금형이 파손되는 경우도 있다.⁽¹⁾⁽²⁾ 따라서 금형 강도를 유지할 수 있는 범위 내에서 금형 전반에 걸쳐 측면여유(Side clearance)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 Fig. 4와 같다

3. 실험

스웨이징 공정의 성형성에 관한 주요 공정변수를 Table 2와 같이 선별하였다. 성형소재는 SM45C와 SKTM11A를 길이 500 mm로 절단하여 양쪽 끝단은 기계 가공을 하였다. 본 실험에 적용된 장비는 축대칭 비원형

Table 2 Process parameter

Parameters	Value	Parameters	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	Forming speed (mm/rev)	0.5
1/10	1.0		
1/20	1.5		
(Tube) Ratio of thickness/Dim	1/30		2.0

제품과 원형제품의 성형도 가능하도록 설계 · 제작된 외륜 구동형 스웨이징 기계로서 소재 이송장치가 장착되어 있다. 성형 소재는 1회전당 성형속도 조정이 가능한 이송장치에 의하여 금형 내로 장입하여 성형 하였다. 그리고 성형이 진행되는 동안 성형 부위는 비수용성 절삭유를 계속적으로 공급하였다. 절삭유는 성형중에 발생하는 소음 및 마찰을 완화시키고 열의상승을 억제시킬 뿐만 아니라 성형되는 제품 표면이 검게 타는 것을 방지시키고 성형 면의 광택을 유지시키는데 필수적이다.

4. 결과 및 고찰

튜브의 성형후 경도값의 분포상태는 Table 3과 같이 성형전 (단면 X-X')보다 (단면 Y-Y') 증가한 것을 볼 수 있으며, 소재 중심 쪽으로 갈수록 큰 차이는 아니지만 경도값이 증가하는 현상을 볼 수 있다. 이것은 성형시 단면적이 감소하면서 직경이 작아지기 때문에 외부보다 내부 쪽에서 성형소재의 압축량이 증가하기 때문이라 판단된다. 마찬가지로 환봉재 경우에도 중심부분에서 경도값이 증가

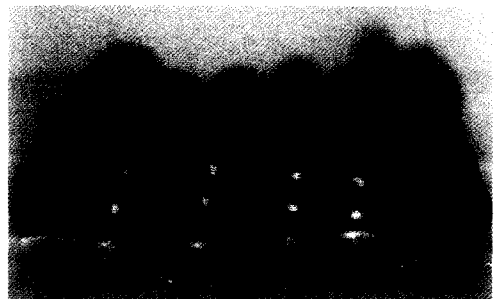
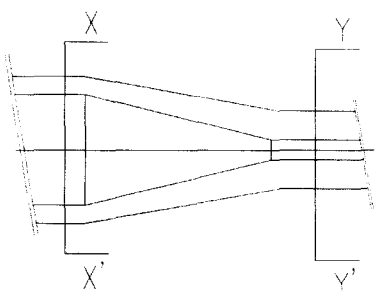


Fig. 5 Example of products

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

Measurement point (mm)	Hardness(Hv)		Surface roughness (R _{MAX})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%,



되는 경향을 보였다. 그리고 표면 거칠기도 Table 3 에서와 같이 원소재보다 한층 매끄러운 표면을 얻을 수 있었다. Fig. 8은 튜브의 성형전후 현미경 조직으로서, 성형후 치밀해진 조직을 볼 수 있다. 그리고 Fig. 5는 생산된 제품을 보여주고 있다.

4.1 경도 변화

Table 4는 튜브재를 성형한 경우로 단면감소율과 성형속도에 따른 표면경도 및 두께의 변화를 나타내고 있다. 단면감소율이 증가 할수록 경도값이 증가함을 볼 수 있다. 단면감소율 78%에서는 성형전보다 경도값이 58.7%까지 증가함을 보여주고 있다. 그리고 성형속도 변화에 따른 경도값은 성형 전보다는 증가하였으나, 증가폭의 변화가 별로 없음을 볼 수 있다. 즉 성형속도에 의한 경도값의 증가는 단면감소율에 의한 증가량보다 작은 것을 볼 수 있다. Table 5는 환봉재를 성형한 경우의 경도변화를 보여주고 있으며, 단면변화율이 64%, 30%인 두경우와 성형속도

가 0.5~2.0 mm/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 나타남을 볼 수 있다.

4.2 치수정밀도

Table 6은 튜브재와 환봉재를 성형한 경우로 성형속도 및 단면감소율의 변화에 따른 치수정밀도를 보여주고 있다. 튜브재의 경우 성형속도 변화에 의한 치수변화 차이는 크지 않지만, 성형속도 0.5 mm/rev에서 요구된 치수인 ϕ9 mm에 가장 근접한 값을 나타내고 있으며, 2.0 mm/rev에서 가장 큰 치수 차이를 보이고 있다. 따라서 성형속도가 작을수록 치수 차가 실제치수에 근접하는 경향을 나타내고 있다. 또한 단면감소율이 증가 할수록 치수 차이가 크게 나타남을 볼 수 있다. 단면감소율이 48% 인 경우는 마이너스 현상을 보이고 있으며, 치수 차가 크게 나타나고

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

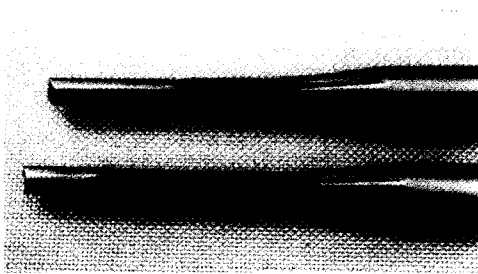


Fig. 6 Example of defective products

있다. 68% 이상은 거의 유사한 치수를 나타내고 있다. 대체적으로 48%를 제외하고는 최대치와 최소치의 치수 차이가 0.06 범위 내에 있는 것을 볼 수 있다. 환봉재를 성형한 경우도 성형속도에 의한 영향은 0.5 mm/rev 범위에서 가장 치수 차이가 작고 1.0 mm/rev 이상부터는 거의 유사한 현상을 보여주고 있다. 이에 비하여 단면감소율이 증가함에 따라 치수 차이가 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 소재흐름의 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 판단된다. 그리고 성형속도를 너무 빠르게 하거나, 성형소재 외경과 가이드 부시 내경 틈새가 너무 크면 성형품이 금형과 금형 틈새로 끼워 들어가 Fig. 6과 같이 불량해지는 경우가 있다. 그러므로 치수정밀도 면에서나 기계진동 상태를 감안할 경우 성형속도는 0.5~1.0 mm/rev범위가 좋다고 판단된다.

4.3 두께 변화

Table 4는 단면감소율이 78%이고, 성형속도 변화에 의한 성형전후 튜브의 두께변화 관계를 보여주고 있다. 성형속도에 의한 영향은 작았으며, 성형전 보다 약 48~57% 정도 두께 증가율을 보였다.

4.4 튜브 두께 대 직경비(t/D) 및 단면 감소율의 관계

Table 7은 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

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

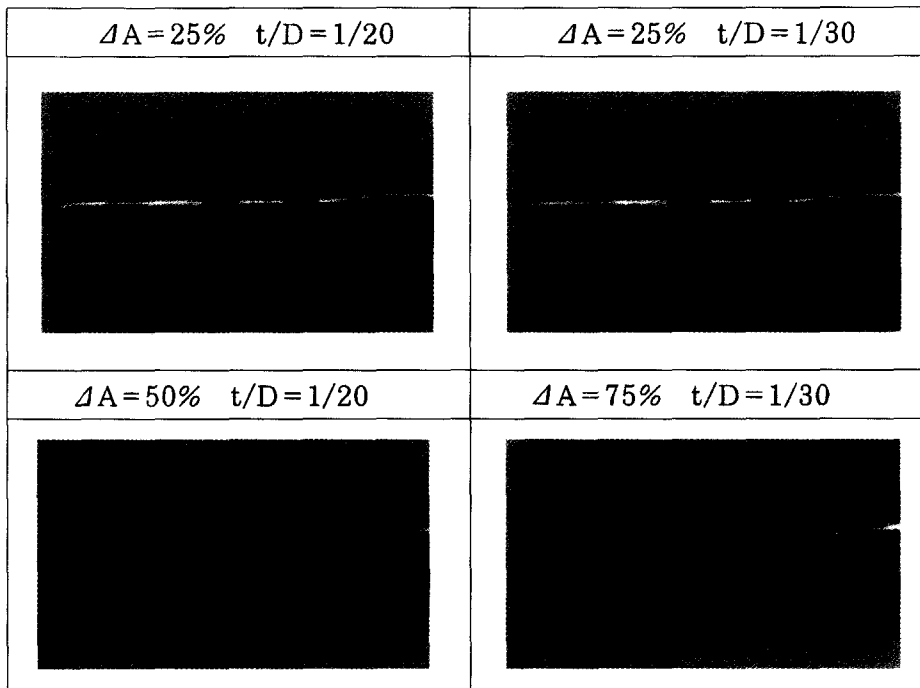


Fig. 7 Example of defects for the ratio of thickness to diameter

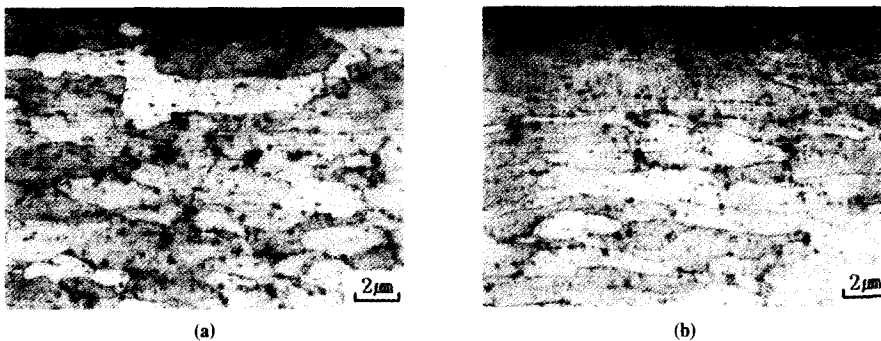


Fig. 8 Microstructures of the tube : (a) Before forming (b) After forming

있었으나, 두께 대 직경비(t/D)가 1/10이상의 경우는 Fig. 7과 같이 제품의 표면에 주름(Wrinkling)이 발생하고 길이 방향으로 찢어짐과 균열이 발생하였다. 따라서 이런 조건 이상에서 성형을 하는 경우에는 맨드릴을 사용하여 성형하는 것이 바람직 하다고 판단된다.

5. 결 론

공정변수에 의한 성형 실험을 통하여 얻은 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 경도값은 성형속도 보다는 단면 감소율이 증가함에 따라서 증가하는 경향을 보였다.

(2) 튜브재를 성형하는 경우 성형후 단면부에서 경도값의 분포는 외부쪽 보다는 내부 쪽에서 높은 경향을 보였으며, 환봉재의 경우도 외부쪽 보다는 중심부에서 높은 경향을 보였다.

(3) 튜브재의 경우 성형전보다 성형후 두께가 크게 증가하는 경향을 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 양질의 제품을 얻기 위하여 맨드릴을 사용하거나, 맨드릴없이 성형하는 경우에는 1/10 이하 범위에서 성형하는 것이 좋다고 판단된다

(5) 제품의 외경과 가이드 부시의 내경 틈새가 지나치게 크면 제품의 가이드 상태가 좋지 않아 튜브재나 환봉재 모두 금형에 끼는 현상을 보였다.

(6) 외륜회전형 스웨이징기계 개발과 현재 자동차에 장착되어 사용중인 로드 시프트(Rod shift) 제품을 성형할 수 있는 4분할 형태의 금형을 설계 제작하여 성형성 실험을 수행한 결과 치수정밀도, 경도, 표면조도 등 기계적 성

질이 향상된 제품을 얻을 수 있었으며, 또한 기존의 생산 방식중 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 twodie Swaging", J. of Engineering for Industry Transactions of the ASM. Vol. 98, No. 4, pp. 1121~1124.
- (6) 나경환, 임성주, 윤덕재, 최석우, 박훈재, 김승수, 1996, "Outer Rotor형 Rotary Swaging Machine 개발" 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.