

Rotary Swaging 공법을 적용한 탄체 소성가공에 관한 연구

손병철^{1*}, 이호진²

¹국방기술품질원 유도탄약센터, ²(주)풍산 기술팀

A Study on the Plastic Forming by Rotary Swaging Process

Byoung-Chul Shon^{1*}, Ho-Jin Lee²

¹PGM & Ammunition Center, Defense Agency for Technology and Quality

²Technical Team, Poongsan Corporation

요약 국내에서 생산중인 대구경 탄약은 대부분 Ogive 부를 제조하는 방법으로 Press Nosing 공법을 적용하고 있다. Press Nosing 공법은 프레스 공정 전 후 윤활처리 등의 추가적인 공정이 필요한 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 단점을 개선할 수 있는 점진성형 공법 중 하나인 Swaging 공법의 대구경 탄약 적용 가능성을 제시하고자 하였다. 대구경 탄약인 155MM K307 탄체는 Press Nosing 공정을 적용하는 대표적인 제품으로, 본 연구에서는 K307 탄체의 Sub-scale 시험품을 제작하여 Swaging 공정을 적용한 소성가공 실험을 실시하였다. 최종 성형 치수를 만족하는 단면감소율 75 % 까지 소성가공이 가능한지 여부 및 Swaging 성형으로 제작된 제품의 치수만족 여부, 제품 결함 발생 여부, 단면감소율에 따른 경도 변화, 두께의 증가 등을 고찰하였다. 시험을 통해 단면적 감소율에 따라 비례적으로 경도가 증가하여 단면적 감소율 75 %에서 경도는 HV 335 이상 증가하는 것을 확인하였다. 소재두께 변화량은 이론적 계산값과 유사한 경향을 보였으며 단면 감소율 75 %에서 두께 증가율은 65.4 %로 비례함을 확인하였다.

Abstract Ogive parts of large-caliber ammunition in Korea are manufactured by the Press Nosing method, but this method has the disadvantage of requiring additional processes such as lubrication before and after the press process. This study proposes the possibility of applying the Swaging method to improve these shortcomings. A large-diameter shell body was manufactured in sub-scale and plastic working experiments using a swaging process were performed. We investigated whether plastic processing is possible up to 75 % of the diameter reduction rate that satisfies the final molding dimension, and whether the dimensions of the product produced by swaging molding are satisfactory as the hardness changes according to the diameter reduction rate and the increase in thickness. The test using the prototype confirmed that the hardness increased proportionally with the diameter reduction rate and by more than HV 335 at the reduction rate of 75 %. The material thickness variation tended to be similar to the theoretical calculated value, and the thickness increase rate was proportional to 65.4 % at the reduction rate of 75 %.

Keywords : Increment Forming Process, Rotary Swaging, Plastic Forming, Large Caliber Ammunition, Ogive

1. 서론

대부분의 탄약은 비행 중 공기저항 최소화 및 비행 안정성을 위하여 앞이 뾰족한 유선형의 형태(Ogive 형상)

를 가지고 있다. 국내에서 생산되는 탄약의 Ogive 부의 형상 제작 방법은 대부분 소성가공 공법인 Press Nosing 공법을 적용하고 있다.

Press Nosing 공법은 Fig. 1에서 보는바와 같이

*Corresponding Author : Byoung-Chul Shon(Defense Agency for Technology and Quality)

email: bcshon6180@dtac.re.kr

Received April 14, 2020

Revised May 15, 2020

Accepted June 5, 2020

Published June 30, 2020

Press로 하중을 가해 앞부분의 형상을 변형시켜 원하는 형상을 제작할 수 있다[1]. Press Nosing 적용 제품은 후가공이 소요되지 않기 때문에 가공비 절감이 가능하며, 소재 손실을 최소화 할 수 있는 장점이 있으나 소성가공 한계가 낮아 1회 Nosing으로 외경이 50 %이상 수축시키는 경우 미성형 또는 파열, 표면 뜯김과 같은 불량률이 높게 발생하는 단점이 있다[2].

때문에 K307 탄체와 같이 단면감소율이 높은 제품의 경우 공정 전, 후 윤활 및 소둔 열처리 등의 부수적인 공정이 반복적으로 요구되며, 이를 최소화 하여 생산성 향상, 가격 경쟁력을 높이기 위한 다양한 연구가 진행 중이다[2-3].

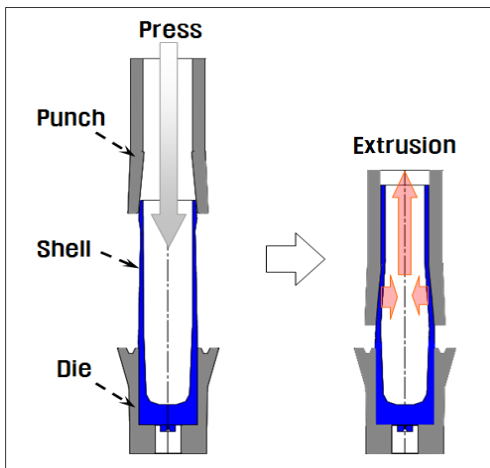


Fig. 1. Pres-nosing process of K307 shell

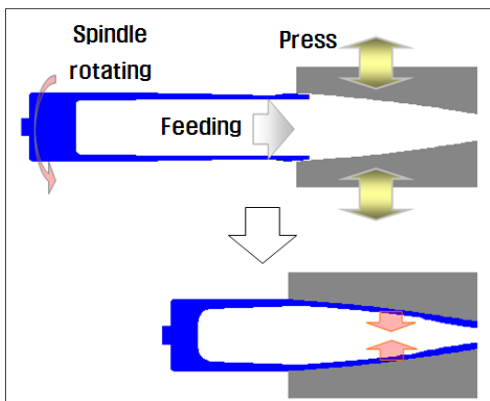


Fig. 2. Swaging process of K307 shell

그 중 점진성형 공정(Increment forming process)은 현재 가장 주목받고 있는 금속성형공정 중의 한 공정

이다. 점진성형 공정 중에서 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 대량생산하는데 유리하며 설비가 저렴하고 구조가 간단하기 때문에 비숙련자의 작업이 용이하다[3-4]. 원소재의 칩 발생이 거의 없기 때문에 소재의 절감 효과가 크고, 윤활이 필요 없으므로 윤활제 미사용에 따른 친환경적인 이점이 있다.

Swaging 공정은 Fig. 2에서와 같이 성형체를 회전시키며 점진적으로 등압 압축 성형하는 방법으로써 성형하중은 단면감소 방향과 동일한 압축하중이 작용하며 Metal Flow는 한 방향으로 제한되지 않으므로 가공성이 매우 높은 이점이 있다. 특히, 단면 변화율의 경우 적용 소재의 물성 및 Swaging 금형 형상에 따라 약간의 차이는 있지만 최대 80 %이상으로 가공성이 매우 유리하다.

본 연구에서는 현재 국내에서 양산중인 155MM 탄약 중 가장 단면감소율이 높은 K307 탄체를 1/4 수준의 Sub-scale로 제작, Swaging 성형하여 Press Nosing 공법을 대체할 수 있는 가능성을 검토하고자 하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 Swaging 공정 상 영향 인자

Swaging 공법의 품질은 성형을 좌우하는 공정 변수 값들이 어떠한 조건하에서 성형이 이루어졌는지에 따라 좌우된다. 때문에 각각의 변수들이 제품 성형에 어떠한 영향을 주는지에 대하여 파악하는 것이 중요하다.

일반적으로 Swaging 공법에서 제품 성형에 영향을 주는 요소들은 소재의 장입 이송속도, 스피들의 회전수, 소재의 회전여부, 회전속도, 금형의 테이퍼, 금형의 클리어런스 등이 있다[5].

2.2 Swaging 성형법의 특성

2.2.1 Swaging 성형시의 두께 변화

Swaging 공법 중 튜브를 성형하는 방법으로는 외부 금형과 내부 맨드릴을 사용하여 내·외경의 정확한 치수를 얻는 방법과 맨드릴을 사용하지 않고 튜브의 벽 두께를 증가 시켜 제작하는 성형 방법이 있다. 본 연구에는 맨드릴을 사용하지 않는 성형 방법을 채택하여 적용하고자 하였다.

Swaging 성형 시 두께변화는 소재의 경도, 연성, Swaging Die, 성형속도 등에 따라 약간의 차이는 있지만 Fig. 3 의 식. 1 과 같이 예측할 수 있다.

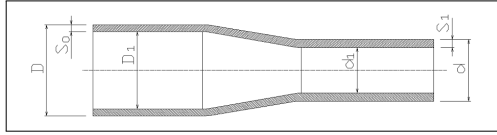


Fig. 3. Change of tube thickness during swaging molding

$$s_1 = s_0 \times \frac{d}{D} \times 10^{(0.5 \times \frac{D}{d} - 0.45)} \quad (1)$$

s_1 : Final thickness of product after rotary swaging

s_0 : Initial thickness of product before rotary swaging

d : Final outer diameter of product after rotary swaging

D : Initial outer diameter of product before rotary swaging

2.2.2 Swaging 성형시에 요구되는 성형력

R. L. Kegg에 의한 Swaging 성형 시 소요되는 성형력을 구하는 이론을 인용하면 다음과 같다[6].

$$Pw(kw) = 5.91 \times 10^{-6} \sqrt{\frac{D^2}{\pi^2 KNS}} + \frac{nA_0 u \omega_1}{\sqrt{\tan \alpha}} \times \left[\sqrt{\frac{SN}{D^2 K}} \sqrt{\tan \alpha} \frac{f}{\omega_1} + 2\mu_r \sqrt{\frac{f}{\omega_1}} \right] \quad (2)$$

$$K = \frac{D+2d}{2D+2d} \quad (2a)$$

$$n = \frac{(2-q) \tan \alpha}{2\sqrt{3\mu q}} \left[e^{\frac{4\mu q}{(2-q)\tan \alpha}} - 1 \right] \quad (2b)$$

A_0 : Original cross-sectional area before rotary swaging

D : Diameter of the point between hammer and roller

d : Diameter of roller

K : Diameter ratio of spindle and roller

N : Quantity of roller

S : Moving stroke of die

n : Ratio of average boundary forming stress to yield stress

ω_1 : Angular speed of inner spindle

α : Die angle

μ_r : Friction coefficient of roller

μ : Friction coefficient between workpiece and die

f : Axial feed rate

q : Ratio of thickness change to original thickness

u : Area under True Stress-True Strain Curve for uniaxial tension

2.2.3 Swaging 성형 한계

연성(Ductility)과 연신율(Elongation)이 높은 재료는 Swaging에 유리하다. 또한, C 함유량이 적을수록, 조직이 구상화 일수록 Swaging에 유리하다. 그리고 한 공정당 성형한계는 성형소재의 재질과 경도, 연성, 연신율, 단면감소를, Swaging 금형의 형상 등에 따라 좌우된다.

Fig. 4 는 탄소강의 C 함유량과 경도와의 관계 및 Swaging이 가능한 범위에 대하여 보여주고 있다.

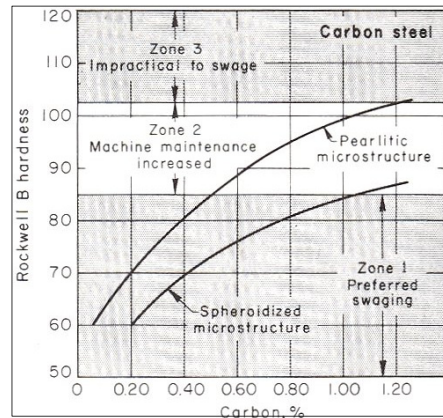


Fig. 4. Swaging formability of carbon steel according to texture, hardness and C content[7]

소재의 경도가 HRB 85 이하까지는 냉간 성형이 가능하나 HRB 102를 초과하는 경우는 소재의 Crack 발생 및 Swaging Die의 마모에 따른 수명저하 등을 야기시킬 수 있으므로 열간성형이 바람직하다. 특히, 인장강도 81kg/mm² 이상의 소재나 상온에서 취성이 있는 소재는 반드시 열간성형을 해야만 한다.

이상의 이론적 검토로서 Swaging 성형 시 소재의 물리적 특성 변화가 성형성에 큰 영향을 주는 요소임을 확인할 수 있으며, 성형 간에 소재의 흐름(Metal Flow) 또한 가공 제품의 품질에 영향을 주는 주요 요인임을 확인할 수 있다.

3. 시험 방법

3.1 시험품 선정

시험 소재는 현재 Nosing 공정 적용하여 양산중인 155MM K307 탄체와 동일한 소재를 사용하였고, 시험의 크기는 보유하고 있는 Swaging 시험 장비의 허용치를 고려하여 155MM K307 탄체의 1/4 수준으로 제작하여 평가하였다.

Table 1 에는 시험품의 재질 및 성분을, Table 2에는 소재 물성을, Table 3은 시험품의 치수를 나타내었다.

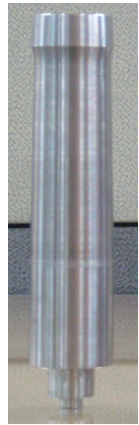
Table 1. Chemical composition of test material

Material \ Contents(%)	C	Si	Mn	P	S
AISI 9260	0.60	1.86	0.95	0.008	0.004

Table 2. Properties of test material

Test material	Tensile stress	Yield stress	Elongation
155MM K307 shell	71.6 kg/mm ²	40.9 kg/mm ²	27.5 %

Table 3. Shape of test material made in sub-sclae(1/4)

Test sample		155mm K307 shell	
Shape			
	Dimension	Outer	36.41 mm ~ 38.74 mm
		Inner	33.09 mm ~ 33.43 mm
		Thickness	1.53 mm ~ 2.63 mm

3.2 Swaging 시험 조건

Swaging 시험 장비는 130Ton Rotary Swaging M/C (Fritzwermer社)와 56Ton Rotary Swaging M/C(Felss社)를 적용하여 시험하였다.

Feeding 속도는 Fritzwermer Swaging M/C의 경우 430mm/min, Felss Swaign M/C는 650mm/min으로 설정하였으며, 회전수는 200rpm 으로 설정 후 적용하였다. 앞에서 언급한 바와 같이 Feeding 속도와 회전수는 Swaging 성형성에 영향을 주는 인자이나, 본 시험에서 고찰하는 성형에 따른 물성변화 및 두께 변화에는 큰 영향을 주지 않는 것으로 보고되고 있으므로[3], Feeding 속도와 회전수는 일정 값으로 고정 후, 단면 감소율에 따른 변화를 검토하여 소성가공성에 대한 검토를 실시하였다. 또한 Swaging 치수는 최종 Nose 부 내경(나사 가공부)을 기준으로 하여 설정하였다.

비교적 단면감소율이 큰 K307 탄체는 한 장비에서 최종 요구 치수까지 소성가공이 어려움에 따라 1차 Swaging(Ø27.5), 2차 Swaging(Ø19.0) 2회에 걸쳐 2 소성가공을 실시하였다. 또한 1차 Swaging 후 바로 2차 Swaging으로 완료하는 방법과 1차 Swaging 후 공정소둔을 실시하고 2차 Swaging으로 완료하는 방법 2가지 형태로 나누어 시험하였다.

시험 후 성형품의 최종 요구치수 만족여부, 각 성형품의 Crack 발생여부, 단면 감소율 별 경도 분포, 표면에서 내부로의 경도 변화 및 조직 분석, 치수 변화(두께 및 전장) 검토 등을 실시하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 Swaging 성형 시험

시험 결과로 Swaging 성형 전, 후 및 단면감소율에 따른 경도의 변화, 소재의 두께 변화량, 금속학적 성형조직 등이 어떠한 경향으로 나타나는지를 관찰하였다.

155MM K307 탄체의 경우 요구되는 단면감소율이 매우 큼에 따라, 중간에 공정소둔 과정이 필요 없이 양호한(Crack 발생이 없는) 제품의 성형이 가능한지에 대해 확인이 이루어졌으며, 소성 가공을 인위적으로 계속 진행시켜, Crack이 발생하는 단면감소율, 즉 소성가공 한계에 대하여 확인하였다. 시험결과 중간에 공정소둔 없이도 한 번의 소성가공으로 요구되는 치수까지 소성가공이 가능함을 확인하였다.

Fig. 5 에 성형된 제품을 단면감소율을 별로 나타내었다.

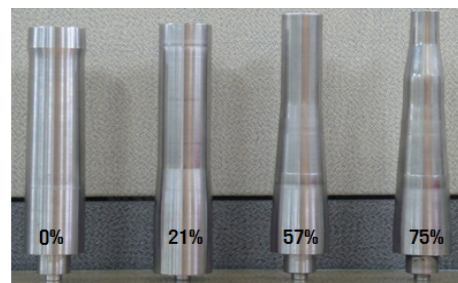


Fig. 5. Shape of molded product according to the reduction rate

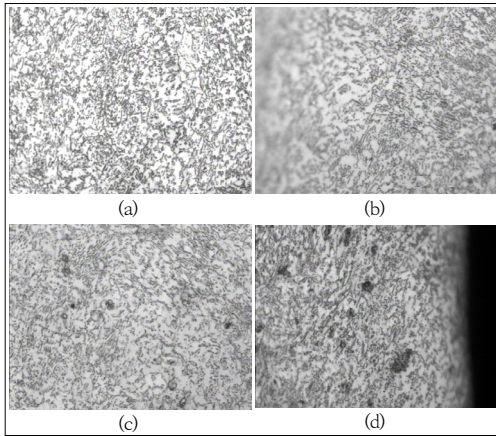


Fig. 6. Organization comparison before and after swaging
 (a) Before swaging(Spheroidizing annealing)
 (b) After swaging(Inner surface)
 (c) After swaging(Center)
 (d) After swaging(outer surface)

Fig. 6 은 Swaging 전 · 후의 현미경 조직으로, 비교 결과, 성형 전 · 후에 큰 차이는 없었으나, 성형품의 외부 표면 부위의 경우 Swaging 의 영향으로 약간 치밀해 졌음을 볼 수 있다.

4.2 성형품의 최종 치수 검토

Swaging 성형 후 Nose 끝 부분의 치수가 요구 치수를 만족하는지 확인하였다.

소재의 단면감소율을 75 %로 고려 시 Sub-scale 제품 상 Nose 끝 부분의 내경은 탄체 신관나사 가공 부위로 신관나사길이 11.87mm에서 내경이 12.13mm 이하의 치수조건을 만족하여야 한다. 치수확인 결과는 신관나사부 내경이 11.1 ~ 11.8 mm 로 요구치수를 만족함을 확인하였다.

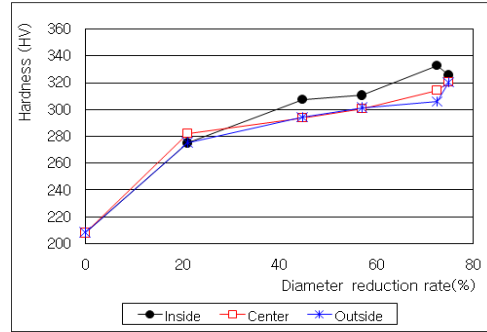
4.3 성형품의 경도변화

K307 탄체의 성형 전과 성형량 증가에 따른 경도 변화에 대하여 고찰하였다.

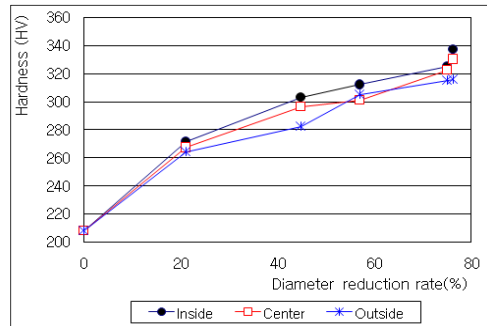
Fig. 7 은 단면감소율에 따른 경도 변화를 나타내고 있다. 탄체의 성형 후 경도값 분포 상태는 Fig. 7 과 같이 성형량이 증가됨에 따라 경도값 또한 증가됨을 볼 수 있다. 단면감소율이 최대 75 %에서는 성형전보다 경도값이 약 60 % 정도까지 증가함을 보여주고 있다.

경도 증가를 확인 결과 단면감소율이 초기 21 %일 경우, 경도값이 약 35 %까지 급격하게 증가됨을 보였으며,

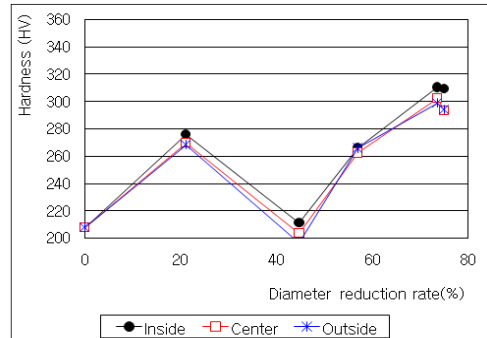
이후 단면감소율이 76 %까지 성형이 진행되는 동안에 경도값은 완만히 증가하는 경향을 보여주고 있다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 7. Hardness change according to the reduction ratio of the molded product

(a) Normal (b) Cracking (c) Processing annealing products

또한 소재 중심쪽, 즉 내부로 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. 따라서, 성형시 외부 표면보다 경도가 높은 내부에서 응력집중에 따른 소재결함이 야기될 가능성이 높음

을 예상할 수 있다.

단면 감소율이 75 %인 경우 경도값은 약 HV 320~325 였으며, 성형부의 Crack 발생은 보이지 않았다. Crack이 발생하는 한계 지점을 확인하기 인위적으로 추가 성형을 실시한 결과 단면감소율이 약 76 %까지 진행되었을 경우 경도는 약 HV 335~340까지 증가하였으며, 성형부에 Crack이 발생됨을 확인하였다.

위 결과를 토대로, 본 실험에 적용한 K307 탄체의 소성가공 한계는 단면감소율이 약 75~76 %의 범위에서 경도값이 약 HV330~340인 범위가 한계치 인 것으로 추정되며, 이 경도값을 HRB로 환산하면 약 HRB 107~108로써 앞서 Fig. 4 에서 보여진 성형한계 HRB 102에 비하여 약간 높음을 확인하였다.

따라서 본 실험에서 최종 요구 치수를 만족하는 단면 감소율 75 %의 경우 Crack 발생은 없었으나, 소성가공 임계치에 가까운 것으로 생각되어진다.

성형 중간 소둔 공정을 거칠 경우 Fig. 7 의 c.에서 보여주듯이 최종 성형 시 경도값은 HV294 ~ 309로 약 10 % 정도 낮아짐을 보임에 따라, 소둔 공정 적용 시 성형한계는 더 높아질 것으로 예상할 수 있다.

4.4 성형품 두께 변화

Fig. 8 은 성형품의 단면감소율에 따른 소재 두께 변화율을 나타내고 있다. 앞서 언급한 식 (1)을 적용하여 이론적 계산값을 구한 후 실험값과 비교 하였으며, 확인결과 약간의 차이는 있으나 실험값은 이론값과 비슷한 경향을 보임을 확인하였다.

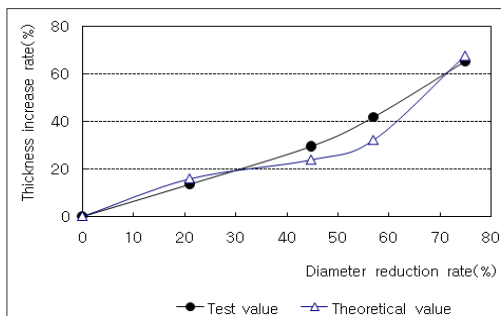


Fig. 8. Material thickness increase rate according to the reduction rate

성형된 제품의 두께 증가량은 Fig. 8 에서 알 수 있듯이 최대 단면감소율 75 %에서 65.4 %의 두께 증가율을 보였으며, 단면감소율이 증가함에 따라 비례하여 증가되

고 있음을 알 수 있다.

5. 결론

기존 탄체 소성가공 공법으로 적용중인 Nosing 공법을 대체하기 위한 공법으로 Swaging 공법을 제시하였으며, 155MM K307 탄체의 적용 가능성을 확인하기 위해 Swaging 시험품을 제작/시험하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) Swaging 후 경도값은 단면감소율 20 %까지 급격히 증가 후, 단면감소율 75 %까지는 완만히 증가되는 경향을 보였으며, 최대 경도값 HV 320 ~ 325로 초기값 대비 약 60 % 증가됨을 보였다.
- 2) K307탄체의 최종 요구 치수를 만족하는 단면감소율 75 %까지는 Crack 발생이 없이 양호한 품질의 제품을 얻을 수 있었으나, 76 % 이상일 경우 Crack이 발생되었으며 이로 미루어 보아 소성가공 임계치는 76 % 수준으로 예상된다.
- 3) Swaging에 따른 소재두께 변화량은 이론적 계산값과 유사한 경향을 보였으며, 단면감소율 75 %에서 두께증가율 65.4 %로 단면감소율과 비례함을 보였다.

본 연구를 통해 Swaging 성형법을 통하여 K307 탄체 Ogive 부 성형 적용 가능성이 충분히 있음을 확인하였다. Swaging 공법 적용 시 소요 공정은 현재 적용되고 있는 Press nosing의 16개 공정에서 3개 공정으로 축소가 가능하여 생산 비용 절감 및 공정 관리 상의 이점이 있을 것으로 예상된다. 또한 윤활공정의 삭제로 윤활제 미사용에 대한 친환경적인 이점도 발생할 것이다.

본 연구는 향후 Scale-up을 통한 실제 제품의 성형 시 기초자료로써 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Taylan Altan, Gracious Ngaile, Gangshu Shen, "Cold and Hot Forging Fundamentals and Applications", pp. 7~15, ASM Intl., 2005, p.14
- [2] C. Y. Cho, Z. S. Park, J. O. Lee, D. J. Jeong, "Study on Nosing Method for Large Size Tube Formed Body", The Korean Society for Technology of Plasticity Proceedings of 2nd Conference, Gangneung-Wonju National University, Wonju, Korea, pp. 408~411, 2009

- [3] S. J. Lim, D. J. Yoon, K. H. Na, "The forming characteristic of rotary swaging process" J. of the Korean Society for Technology of Plasticity Vol. 7, No. 5, 1998
- [4] Charles Wick, John T. Benedict, Raymond F. Veillenx, "Tool and Manufacturing Engineers Handbook", Vol. 2(Forming), Chap.14 Swaging, SME, , pp. 14.1 ~ 14.21., 18
- [5] S. J. Lim, "Formability of Rotary Swaging Process for Fabricating Hollow Shaft Parts", Ph.D dissertation, Inha University, Incheon, Korea, pp. 11~16, 37~39
- [6] ReRichard L. Kegg, Trans., "Mechanics of the Rotary Swaging Process", Vol. 84 ~ 86, No. 4, pp.317 ~ 324), ASME, 1964
DOI : <https://doi.org/10.1115/1.3670548>
- [7] Joseph R. Davis, "Metals Handbook, Forming Vol.14 Rotary Swaging of Bar and Tubes", pp.128 ~ 144, ASM, 1988

손 병 철(Byoungchul Shon)

[정회원]



- 2006년 2월 : 금오공과대학교 기계공학과
- 2008년 2월 : 금오공과대학교 대학원 기계공학과(기계공학석사)
- 2009년 1월 ~ 2014년 3월 : STX 중공업 기자재 설계

- 2014년 4월 ~ 2017년 1월 : 평화발레오 유압시스템 설계
- 2017년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

기계, 재료, 탄약

이 호 진(Ho-Jin Lee)

[정회원]



- 2002년 2월 : 단국대학교 재료공학과
- 2004년 2월 : 단국대학교 대학원 재료공학과(재료공학석사)
- 2004년 2월 ~ 현재 : (주)풍산 안강 사업장 기술팀

<관심분야>

기계, 재료, 탄약