韓國精密工學會 '96年度 春季學術大會論文集 pp.196~200

후방압출공정에서 치수정밀도 향상을 위한 초기소재형상 결정

김호창*, 김태형*, 김병민**, 최재찬**
* 부산대학교 대학원, ** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터

Determination of Initial Billet Shape to improve Dimension Accuracy in Backdward Extruded Cups

H. C. Kim, T. H. Kim, B. M. Kim, J. C. Choi
* Graduate school, Pusan National University
** ERC for Net Shape and Die Manufacturing, Pusan National University

ABSTRACT

In general, cylinderical types of billet are used in the backward extrusion. It is difficult to obtain homogenious wall thickness by the backward extrusion using these. It is gradually increased that improving the accuracy and reducing the post machining of the final products. In manufacturing cup shaped parts by backward extrusion, it is very important to design optimal initial billet or preform. These can improve the accuracy of final products and remove the post machining processes. In this study, the influence of final parts geometry by the shape of initial billet as non machined types are discussed.

1. 서론

종래의 금속성형공정은 전문가의 Know-how를 바탕으로 경험적으로 발달되어 왔다. 그러나 최근 금속성형공정은 소재비의 상승, 작업환경의 악화로 인한 숙련기술자의 부족 및 다품종 소량 생산 등의 문제점을 극복하기 위하여 생산성 향상, 소재 손실의 최소화,
예비성형과 후속공정의 최소화를 통한 비용절감에 주력하고 있다.

일반적으로 냉간단조의 금형은 고가이기 때문에 많은 실험을 통한 시행착오를 거듭할 수 없는 여건이다. 따라서 다양하고 정밀한 제품을 개발함에 있어서 시행착오와 가공시간, 제작비 등을 최소화 하여 효과적으로 제작하기 위하여 이론해석을 바탕으로 금속성형공정설계를 CAD/CAM도입과 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하는 방법이 많이 연구되고 있다.

후방압출공정은 다른 가공방법에 비해 가공속도가 빠르기 때문에 튜브형상의 제품을 대량생산에 주력해 왔으나, 오늘날에 와서는 종래의 대량생산 방식에서 탈피하여 중·소량의 정밀제품을 생산하는 추세이다. 따라서 후방압출공정에 의해 균일한 벽두께를 얻기 위한 비교적 많은 연구가 수행되어 왔다[1~5].

후방압출가공품의 치수 정밀도에 미치는 요인으로서 재료, 소재형상, 펀치 형상과 가공속도, 금형의 형상과 재질, 윤활조건에 따른 온도의 영향 등의 많은 조건이 있다.

Kato 등은 변형과 마찰로 인해 발생한 열에 의한 소재와 다이의 온도분포에 따른 변형을 해석하여 압출된 제품의 직경변화를 예측할 수 있었다[1]. Bay 등은 후방압출공정 동안의 금속유동을 실험을 통해 제시하고, 단면적 감소율, 재료의 변형경화와 윤활조건에 따른 적절한 펀치형상을 제시했다[2]. Kuninori 등은 가공속도의 영향이 압출가공중의 변형열의 발생·전도와 관계를 관찰하여 균일한 벽 두께를 얻기 위해 가공속도에 따른 변형열의 영향을 실험적으로 제시하였고, 용기의 상·하부분에서의 비정상변형, 즉 상부에서의 비정상적인 압출 압력으로 인한 비정상변형 및 하부에서의 데드메탈존의 전단으로 인한 변형과 치수 정밀도와의 관계를 밝혔다[3,4].

하지만, 초기 소재 형상에 대한 연구는 비교적 적었다. 天野富男 등은 원통형 소재의 상·하부 가장자리를 절삭가공한 소재를 사용하여 가공한 제품을 완전 원통형 소재로 가공한 제품과 비교하여 치수정밀도가 양호함을 실험적으로 나타내었다[5]. 하지만 절삭가공으로 인해 재료의 손실을 가져오기 때문에 제품의 경쟁력이 떨어진다고 볼 수 있다.

원재료로부터 절단된 소재를 업셋팅하면, 평행도를 내기 쉽고 실제로 작은 지름의 재료를 업셋팅하기 때문에 원재료를 절단하기도 쉽다.

본 연구는 냉간후방압출가공시 제품의 치수정밀도에 큰 영향을 미치는 초기 소재 형상 결정에 주 관점을 두었으며, 초기 소재 형상 결정에 있어서 원재료로부터 전단된 비절삭 소재를 업셋팅하여 예비성형체를 가공하여 재료의 손실을 막는데 목적이 있다. 그리고, 원재료로부터 절단된 소재를 업셋팅하면, 평행도를 내기 쉽고 실제로 작은 지름의 재료를 업셋팅하기 때문에 원재료를 절단하기도 쉽다. 업셋팅시 마찰상수에 의한 배불림(barrelling)현상과 상다이를 변화시키므로서 예비성형된 소재의 상면의 형상이 치수 정밀

도에 미치는 영향을 유한요소 시뮬레이션을 통해 검증해 보고자 한다.

2. 초기소재 형상 결정 방법

완전 원통형 소재를 이용하던 종래의 공정과는 달리 **天野富男** 등은 Fig. 1과 같이 원통형 소재의 상·하부 가장자리를 잘라낸 주판구슬 모양을 한 형상과 소재의 상·하부의 오목한 형상이 치수정밀도를 향상시킨다는 것을 실험적으로 검증하였다. 이 연구에 따르면 측면 원통부가 적은 불량 크일수록 치수에 양호한 결과를 준다고 하였다. 하지만 이 연구에서는 절삭가공으로 인한 재료의 손실이 발생하므로 그리좋은 결과로 여기기는 어렵다.

Fig 1. Geometry for Cutted Billets

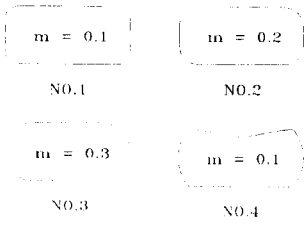


Fig. 2 Geometry for Upsetted Billets

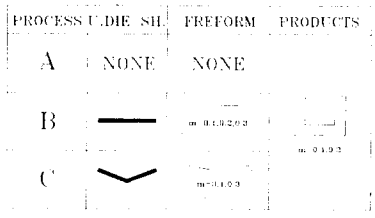


Fig. 3 Process Conditions for backward Extrusion

본 연구에서는 Fig. 2의 NO.1~3과 같이 체적이 같은 초기소재를 각각 마찰상수 0.1 , 0.2 , 0.3으로 업셋팅하면 배불림(barrelling)현상이 다르게 나타난다. 배불림이 많이 나타난 소재가 원통형 측면부분이 적은 Fig. 1의 No. 3과 유사하다고 볼 수 있다.

이들 소재를 같은 마찰상수로 수행한 후방압출을 유한요소 해석하여 치수정밀도를 비교해 보고, Fig. 2의 NO.4는 Fig. 1의 No. 4에서 처럼 소재를 평탄하게 하는 대신 원추형의 오목자국을 만들어 펀치와 소재와의 구심성을 좋게 하기 위하여 소재의 상부를 변화시켜 해석해 보았다. 따라서 전 시뮬레이션을 Fig. 3로 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

유한요소 시뮬레이션에 사용된 재료는 응력-변형률의 관계가 $\bar{\sigma} = 715.95\,\bar{\varepsilon}^{0.22}$로 표현되고, 초기 항복강도가 223.5MPa인 SM10C 이다. 압출비(R)는 5로 일정하게 시뮬레이션을 수행하였다.

각 시뮬레이션에서 얻어진 내경의 오차량을 원하는 형상과 성형된 형상과 오차편차로 나타낸 E.D.(error deviation) 값으로 정의하였다. 따라서 식 (1)은 벽면의 불균일 정도를 나타내므로 값이 적을수록 보다 치수가 정밀함을 알 수 있다.

$$E.D. = \sqrt{\frac{1}{N}\sum^{N} D_i^2} \qquad \text{식(1)}$$

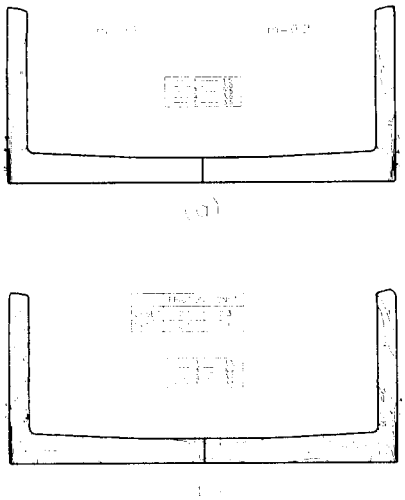
여기서, N은 벽면 경계 요소에서 불균일한 절점의 갯수이고, D_i는 원하는 형상에서 실제 성형된 형상사이의 거리이다.

Table 1 Error Deviations for Various Forging Conditions

PRO-CESS	FRICTION FACTOR		ANNEAL	E.D ($\times 10^{-4}$)
	UPSET	EXTRU.		
A	×	0.1	×	196.279
		0.2		203.325
B	0.1	0.1	○	113.578
			×	114.439
		0.2	○	118.231
			×	110.271
	0.2	0.1	○	105.138
			×	101.281
		0.2	○	112.487
			×	108.830
	0.3	0.1	○	97.545
			×	99.047
		0.2	○	105.229
			×	107.694
C	0.1	0.1	○	105.554
		0.2		122.957
	0.3	0.1	○	97.612
		0.2		115.397

표 1은 각각의 공정에서 최종제품의 형상오차를 나타낸것이다. 원통형 소재를 사용하여 직접 후방압출한 경우인 공정 A는 마찰상수가 낮을수록 형상오차량이 더 작음을 볼 수 있었으며 초기의 원통형소재를 평펀치를 이용하여 업셋팅한 후 다시 후방압출한 경우인 공정 B의 형상오차량은 공정 A보다 더 낮음을 볼 수 있다. 공정 B에서는 업셋팅시 마찰상수가 높을수록 후방압출공정후 비교적 형상오차량이 낮게 나타났으며, 업셋팅시 마찰상수가 0.3이며 후방압출공정에서 마찰상수가 0.1이고 풀림처리를 한 경우의 형상오차량이 가장 낮음을 볼 수 있었다. 업셋팅공정에서 마찰상수가 0.1, 0.3인 경우에서 후방압출한 경우에는 풀림처리를 한 경우가 형상오차량이 더 낮게 나타남을 볼 수 있었다. 공정 C는 원통형소재를 원추형 펀치를 이용하여 업셋팅한 후 풀림처리를 거친 소재를 후방압출한 공정들로서 이 경우 역시 공정 A에서의 형상오차량보다 더 낮은 값을 보였으며 공정 B에서와 같이 업셋팅시 마찰상수가 0.3이며 후방압출공정에서 마찰상수가 0.1인 경우의 형상오차량이 가장 낮음을 볼 수 있었다. 이 경우 역시 풀림처리를 한 경우가 형상오차량이 더 낮음을 볼 수 있다.

Fig. 4(a)는 원통형 소재를 사용하여 직접 후방압출했을때 소재내부의 변형률 분포를 나타낸 것으로 마찰조건에 따라 변형율 분포는 큰 차이가 없음을 볼 수 있다. 제품 내부에서 최대변형율은 외벽 하단부에서 발생하였으며 제품의 벽 상단부에서는 큰 변형이 발생하지 않았음을 볼 수 있다. 그러나 Fig. 4(a)에서 볼 수 있듯이 압출된 제품의 벽 두께가 균일하지 못하며 제품의 끝단부가 약간씩 중심측으로 굽힘이 발생되었음을 볼 수 있다. 이러한 현상은 성형 후 펀치를 제품으로부터 분리할때 제품의 끝단부와의 간섭이 예상된다.



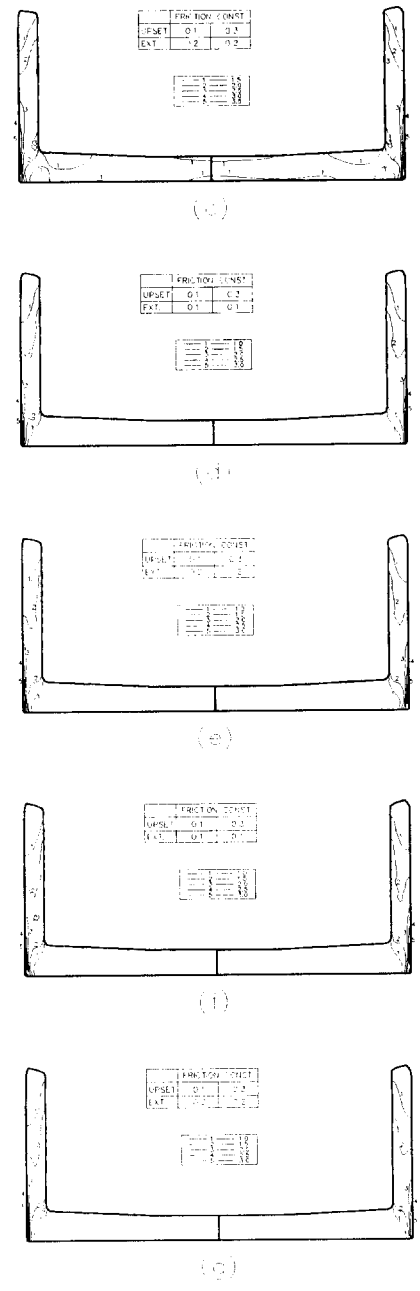


Fig. 4 Distribution of Effective Strain

Fig. 4(b),(c),(d),(e)은 원통형 초기소재를 평펀치를 사용하여 업셋팅 공정을 수행한 후 Fig. 4(a)에서 사용한 것과 동일한 형상의 펀치로 후방압출하였을 때의 제품내부 변형률 분포를 나타낸것이다. Fig. 4(b)은 마찰조건이 좌,우측이 각각0.1, 0.3인 경우에 대해서 업셋팅공정을 수행한 후 풀림처리를 하지 않고 후방압출한 경우를 나타낸것으로서 업셋팅

시 윤활이 좋은 경우 압출된 제품의 끝단부 높이가 더 균일함을 알 수 있으며 또한 중심측 방향의 수축량도 업셋팅을 거치지 않은 경우보다 더 작음을 볼 수 있다. 전체적인 변형률의 크기는 업셋팅을 거치지 않은 경우보다 더 크 며 특히 압출된 부분의 변형률이 크게 증가했음을 볼 수 있다. Fig. 4(c)은 Fig. 4(b)과 동일한 해석조건 중 후방압출공정시의 마찰상수가 0.2인 경우에 대한 해석 결과이다.

두가지의 해석결과를 비교해볼때 후방압출공정에서의 마찰조건의 변화는 제품내부의 변형률 분포에 큰 영향을 미치지 않음을 볼 수 있으며 또한 업셋팅 공정에서의 윤활조건도 제품의 변형률 분포에 큰 변화를 주지 않음을 알 수 있다.

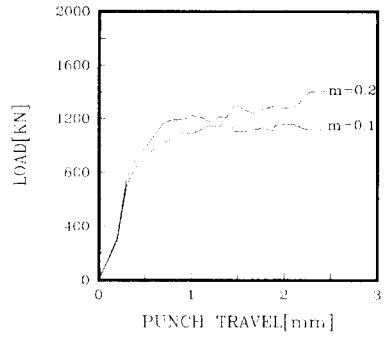
Fig. 4(d)과 (e)은 각각 Fig. 4(b)과 (c)의 공정에서 업셋팅한 소재를 풀림처리 한 후 후방압출공정을 해석한 결과이다. Fig. 4(d)은 Fig. 4(b)에 비해 제품내부의 변형률이 더 낮음을 알 수 있지만 업셋팅공정을 거치지 않은 Fig. 4(a)의 해석결과에 비해 변형률의 분포가 더 균일함을 볼 수 있었으며 업셋팅공정에서 윤활이 더 좋은 경우가 압출된 제품의 끝단부의 휨량이 더 적음을 관찰할 수 있었다. Fig. 4(e)역시 Fig. 4(c)에 비해 전체적으로 낮은 변형률 분포를 나타내고 있지만 앞의 결과와는 반대로 업셋팅시 윤활조건이 더 좋은 좌측의 경우가 제품끝단부의 휨량이 더 큼을 볼 수 있다.

Fig. 4(f),(g)은 원통형소재를 원추형 펀치를 이용하여 업셋팅한 후 풀림처리를 거친 소재를 Fig. 4(a)에서와 동일한 형상의 펀치를 사용하여 후방압출한 결과를 나타내고있다. Fig. 4(f)는 각각 마찰상수가 0.1,0.3인 조건에서 업셋팅한 후 후방압출공정에서 마찰상수가 0.1인 경우에 대한 해석결과이며 업셋팅공정에서 마찰조건이 작은 좌측의 경우가 소재끝단부가 중심측으로의 휨량이 더 큼을 볼 수 있으며 압출된 제품 끝부분 높이차이도 평펀치를 사용하여 업셋팅을 거쳤던 경우보다 더 큼을 볼 수 있다. Fig. 4(g)은 Fig. 4(f)와 동일한 조건에서 후방압출공정시 마찰조건이 0.2인 경우를 나타낸것으로서 Fig. 4(f)와 거의 유사한 변형양상을 보이고 있다.

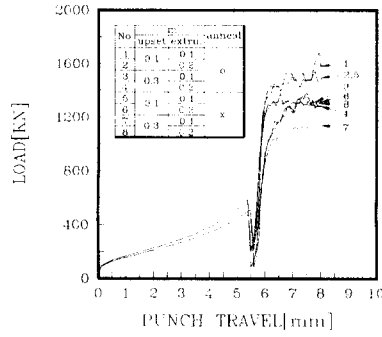
각각의 공정조건들에 대한 펀치행정-하중의 관계를 Fig. 5(a),(b),(c)에 도시하였다. Fig. 5(a)는 원통형 소재를 직접 후방압출한 경우에 대한 하중변화를 나타낸것으로서 윤활이 좋은 경우가 펀치에 작용하는 하중이 더 낮음을 볼 수 있다.

Fig. 5(b)는 원통형 소재를 평펀치로 업셋팅한 후 후방압출한 공정들에 대한 하중변화를 도시한 것으로서 전체적으로 업셋팅후 풀림처리한 경우가 후방압출공정에서 작용하중이 더 낮게 작용함을 볼 수 있었다. 특히 업셋팅공정에서 마찰상수가 크고 풀림처리한 소재를 윤활조건이 좋은상태로 후방압출하는 경우에서 가장 낮은 하중을 보이고 있으며 이것은 원통형소재를 직접 후방압출한 경우보다도 작용하중이 더 낮음을 알 수 있었다.

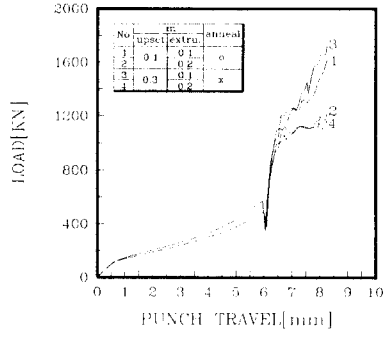
Fig. 5(c)는 원통형소재를 원추형 펀치를 이용하여 업셋팅한 후 풀림처리를 거친 소재를 후방압출한 공정들에 대한 펀치행정-하중의 변화를 도시한 것으로서 전체적으로 평펀치를 사용하여 업셋팅을 거친 경우보다 작용하중이 더 높음을 볼 수 있다. 이러한 조건들 하에서는 업셋팅시 마찰이 가장크며 후방압출시 마찰이 작은 경우에서 하중이 가장 낮게 나타났으며 원통형소재를 직접 후방압출한 경우와 작용하중이 비슷하게 나타남을 알 수 있었다.



(a) extrusion load on conventional backward extrusion



(b) extrusion load using upsetted buillets by flat punch



(c) extrusion load using upsetted buillets by conical punch

Fig. 5 Load vs. Punch Stroke

이상의 해석결과들로 부터 기존의 후방압출공정, 즉 초기 원통형소재를 직접 후방압출하는 경우에 비하여 적절한 중간공정의 추가는 단조하중, 제품의 정밀도, 균일한 변형등

을 얻을 수 있었다. 또한 기존의 후방압출공정은 압출된 소재의 끝부분이 중심축 방향으로 휨이 발생하여 성형 후 펀치의 제거시 펀치-소재간의 간섭이 발생할 수 있음을 예측할 수 있으며, 압출된 부분의 변형도 균일하지 못하다는것을 볼 수 있었다.

따라서 본 연구에서는 중간공정을 평펀치와 원추형 펀치를 이용하여 초기소재를 업셋팅한 후 풀림처리를 거치거나 혹은 풀림처리 없이 후방압출하는 공정에서 마찰의 효과도 동시에 관찰하였으며, 평펀치를 사용하여 업셋팅을 한 경우에는 업셋팅시 마찰이 클수록, 후방압출시 마찰상수가 작을수록, 풀림처리를 거칠수록 정밀도가 더 우수한 제품을 얻을 수 있었다. 또한 원추형 펀치를 이용하여 업셋팅을 한 다음 후방압출한 경우에도 초기소재를 직접 후방압출하는 경우보다는 균일한 제품을 얻을 수 있지만 평펀치를 이용하여 업셋팅을 수행한 공정이 하중, 정밀도 측면에서 더 유리하다는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과들을 토대로 후방압출공정의 설계, 정밀도 향상등을 위해서는 초기의 봉재를 일정체적으로 절단한 후 무윤활 업셋팅을 수행한 후 풀림처리, 윤활처리를 거친 후 다시 후방압출하면 제품의 정밀도를 향상시킬 수 있다.

4. 결론

기존의 후방압출공정을 유한요소해석하였으며, 정밀도를 향상시키기 위한 초기소재의 형상및 가공조건을 살펴보았다. 이상의 해석결과로부터 다음과 같은 결론을 제시하고자 한다.

1) 기존의 후방압출공정에서는 압출된 부분의 변형의 균일화, 끝단부의 휨등이 발견되었다.
2) 평펀치를 사용하여 초기소재를 업셋팅한 후 후방압출하는 공정은 기존의 후방압출공정보다 더 균일한 변형 및 정밀도를 향상시킬 수 있다.
3) 펀치하중이 낮은 공정에서 압출된 부분의 두께가 훨씬 균일하였다.
4) 초기소재를 무윤활상태에서 업셋팅한 후 풀림처리를 거쳐서 후방압출하면 제품의 정밀도를 향상시킬 수 있다.
5) 원추형펀치를 이용하여 초기소재를 업셋팅한 후 후방압출하는 공정은 기존의 후방압출공정보다는 정밀도를 향상시킬 수 있었으나 평펀치를 사용한것보다는 유리하지 못했다.

5. 참고문헌

1. T. Kato, Y. Tozawa, K. Nakanishi, and T.Kawabe, "Prediction of Dimensional Accuracy of Cold Extruded Can During Repeating Operation", Annals of the CIRP Vol. 35/1/, pp.177~180, 1986
2. N. Bay, S. Lassen, K. B. Pedersen, "Lubrication Limits in Backward Can Extrusion at Low Reductions", Annals of the CIRP Vol. 40/1/, pp. 239~242, 1991
3. Kuninori Imai, "Effects of Punch Velocity on the Preciseness of Backward-Extruded Cups", 塑性と加工 Vol. 22 no. 241, 1981-2
4. Kuninori Imai, "Effects of Unsteady Deformation on Inner and Outer Diameters of Backward Extruded Cups", 塑性と加工 Vol.16 no.178, 1975-11
5. 天野富男, 田村公男 " 後方押出しにおける最適素材條件", 第 37回 塑性加工連合講演會 1986. 11. 20~22 , 横兵市