한국소성가공학회 2005년도 추계학술대회 논문집 pp. 247~250

알루미늄 압출 관재의 표면 결함이 하이드로포밍 성형에 미치는 영향도에 관한 연구

김대현[1] · 김봉준[1] · 박광수[1] · 문영훈[#]

The effects of the surface defects on the hydroformability of extruded aluminum tubes

D. H. Kim, B. J. Kim, K. S. Park, Y. H. Moon

Abstract

The need for improved fuel efficiency, weight reduction has motivated the automotive industry to focus on aluminum alloys as a replacement for steel-based alloy. To cope with the needs for high structural rigidity with low weight, it is forecasted that substantial amount of cast components will be replaced by tubular parts which are mainly manufactured by the extruded aluminum tubes. The extrusion process is utilized to produce tubes and hollow sections. Because there is no weld seam, the circumferential mechanical properties may be uniform and advantageous for hydroforming. However the possibility of the occurrence of a surface defect is very high, especially due to the temperature increase from forming at high pressure when it comes out of the bearing and the roughness of the bearing, which cause the surface defects such as the dies line and pick-up. And when forming a extruded aluminum tube, the free surface of the tube becomes rough with increasing plastic strain. This is well known as orange peel phenomena and has a great effect not only on the surface quality of a product but also on the forming limit. In an attempt to increase the forming limit of the tubular specimen, in the present paper, surface asperities generated during the hydroforming process are polished to eliminate the weak positions of the tube which lead to a localized necking. It is shown that the forming limit of the tube can be considerably improved by simple method of polishing the surface roughness during hydroforming. And also the extent of the crack propagation caused by dies lines generated during the extrusion process is evaluated according to the deformed shape of the tube.

Key Words : hydroforming, surface defects, orange peel, formability, AA6061, AA6082

1. 서 론

하이드로포밍을 연구하는데 소재기술, 설계기술, 성형공정기술, 금형기술의 네가지 정도로 분류할 수 있는데 이중 소재기술의 경우 대체재료로서 경량재료의 적용에 의한 차체 경량화 기술로 재료로는 알루미늄, 마그네슘, 플라스틱 등의 재료들이 주를 이룬다. 이 중 2000 년도에 차체에 적용되는 알루미늄 부품의 경우 캐스팅 성형품이 70.7%인 반면 압출 성형품을 이용한 경우가 9.1% 정도로 향후 2010 년까지 압출 성형품의 수요가 13.6%까지 증가할 전망이다.[1] 압출 공정으로 제조된 알루미늄 관재는 일반적으로 에너지 흡수율이 좋고, NVH 응답성이 뛰어난 것은 물론 내식성이

1. 부산대학교 정밀기계공학과
교신저자: 부산대학교 정밀기계공학과,
E-mail: yhmoon@pusan.ac.kr

탁월하다고 알려져 있다. 또한 용접 seam 부가 없기 때문에 원주방향으로 전체적으로 균일한 기계적인 물성을 갖는다. 반면에 Fig. 1 에서의 압출 공정시 고온의 빌렛이 chamber 의 bearing 부를 빠져나갈 때 bearing 의 표면 상태가 불량하거나 이물질이 끼어있는 경우 표면에 압출방향으로 스크래치인 다이스 라인(dies lines)과 같은 표면 결함이 생기게 되는데[2], 원주방향으로 관재가 변형시 조기 파단의 원인이 되기도 한다.(Fig.2(a)) 아울러 AA6061 압출 관재의 경우 일정 소성변형을 받으면 표면에 통상 오렌지필이라는 표면 결함이 생기는데,(Fig.2(b)) 최종 성형품의 품질을 떨어뜨리는 것은 물론 하이드로포밍 성형시 관재의 성형성도 저하시킨다. 따라서 본 연구에서는 이러한 결함들이 하이드로포밍 성형시 성형성에 미치는 영향도를 정량적으로 분석하기 위해 다양한 부하경로 하에서 변형되는 관재의 형상별 다이스 라인으로 인한 크랙의 진전 정도를 파악하는 것은 물론 소성 변형률에 따른 알루미늄 표면의 거칠기 변화를 측정하고 성형 도중의 시편 표면을 polishing 함으로서 성형성이 얼마나 개선되는지 파악해 보고자 한다.

2. 실험방법

2.1 실험장비 및 실험방법

하이드로포밍 실험에 사용된 실험장치는 4 주형 하향식 유압프레스로 80ton 급에 고압 생성장치로 증압기(intensifier 최대성형 압력 200MPa)가 장착되어 있으며, 좌우 양쪽에 유압 압입 실린더 2 대와 유압을 공급하는 서보유압 장치 등으로 구성된다. 하이드로포밍 성형은 관재를 금형 사이에 놓고, 상하 금형을 프레스 가압에 의해 체결한 후에 양쪽 유압 압입 실린더로 관재 양쪽 끝단이 sealing 되도록 전진시킨다. 이 후에 고압의 액압유체를 유압 압입 실린더에 연결된 펀치를 통하여 관재 내부에 공급하여 관재를 확관 성형시킨다.

먼저 소성 변형 정도에 따른 표면 거칠기 변화 정도를 파악하기 위하여 소성변형시 표면에 orange peel 이 두드러지게 나타나는 AA6061 압출 관재의 초기 시편 표면 거칠기를 측정하고(Fig. 3) 표면에 0.1in 의 원형 그리드를 에칭(etching)하여 다양한 부하 조건으로 확관성형시켜 관재 표면의 길이방향 원주방향의 변형률과 그 위치의 표면거칠기를 측정하여 소성변형률의 차이에 따른 표면 거칠기 변화를 분석한다. 그 후에 각각의 성형품의 표면을 sandpaper (#200~1500)를 이용하여 초기 시편의 표면거칠기 상태까지 polishing 시킨 후에 그 시편을 재성형시켜 파단까지 확관시킨다. 또한 압출 공정시 발생하는 주요 표면 결함인 다이스 라인이 확관 성형성에 미치는 영향도를 파악하기 위해서 AA6082 압출관재를 사용하여 다양한 부하경로에 따른 관재의 변형 형상별 표면의 크랙(crack) 진전 정도를 정량적으로 평가하였다.

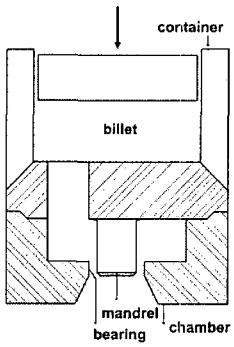
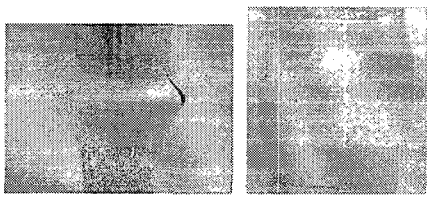


Fig. 1 Schematic drawing of the extrusion process



(a) dies lines **(b) orange peel**

Fig. 2 Surface defects of the tube after forming

3. 실험결과

3.1 표면 거칠기 악화로 인한 두께 불균일

알루미늄 압출 관재를 제조시 Sc, Mn 등을 첨가하여 Al3Sc 와 같은 석출물이 생성될 경우 강도의 증가 및 재결정 억제의 중요한 역할을 수행한 다.[3] AA6061 의 경우 상대적으로 관재 표면부에서 재결정이 용이하게 일어나 전위밀도와 강도가 감소하는 반면 연성이 증가하게 되고 소성변형률 (plastic strain)이 증가할 경우 관재 표면에 오렌지필 현상이 두드러지게 나타나게 된다. 따라서 AA6061 압출재를 다양한 부하경로 로 성형시킨 후의 관재 표면의 표면거칠기를 측정하여 변

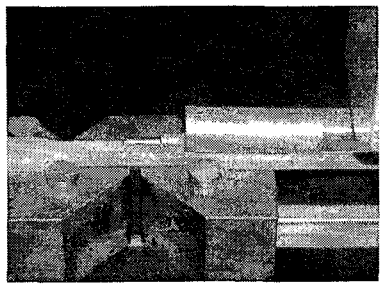


Fig. 3 Measurement of the surface roughness

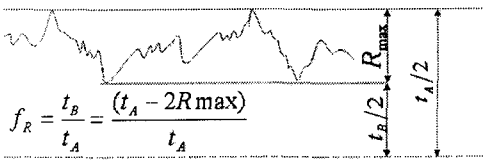


Fig. 4 Schematic drawing of the nonuniformity in thickness caused by surface roughening

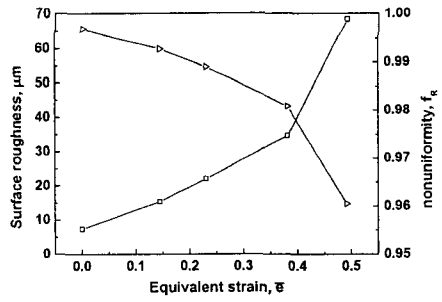


Fig. 5 Development of surface roughness and uniformity in thickness with plastic deformation

형 정도에 따른 표면거칠기 변화를 측정하였다.(Fig. 4) 전체적으로 등가 변형률(equivalant strain)에 비례하여 표면거칠기가 증가하였다. 최대 거칠기 Rmax 는 넥킹(necking)이 일어나기 전까지 일정한 비율로 증가하는 반면 넥킹이 일어난 이후에 급격히 증가하였다.[4] Fig. 4 에서 보이듯이 소성변형시 표면 거칠기 증가로 인한 두께의 불균일 정도(nonuniformity)를 나타내기 위하여 거칠기 최대 선단부와 관재 중심부 사이의 거리 t_a 과 거칠기 최소 선단부 t_b 사이의 비율인 f_R 로 나타내면 f_R 은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.(Fig. 4)

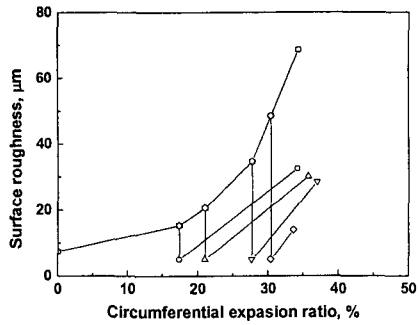


Fig. 6 Surface roughening behavior after inter-stage polishing

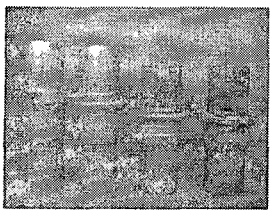
$$f_R = t_B / t_A = 1 - 2R_{\max} / t_A \quad (1)$$

Fig. 5 는 관재 표면에 원형 그리드를 에칭하여 하이드로포밍 성형시 확관 중심부 표면의 변형률을 측정하고, 아울러 그 위치에서의 표면거칠기 확인하였고, 식 (1)을 이용한 두께 분균일 정도를 나타낸 것으로 소성변형에 의해 관재 변형이 감소함에 따른 f_R 이 급격하게 감소하게 된다. 이 정도는 압출 관재의 초기 두께가 작을수록 그 정도는 더욱 심해질 것으로 사료된다. 또 변형률이 0.4 인 지점(diffusion necking 지점) 이후로 급격히 표면 상태가 악화되는 것을 확인하였다.

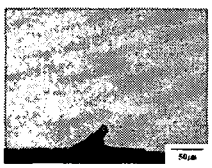
3.2 표면거칠기 정도를 향상시킴에 따른 성형성 개선 정도 평가

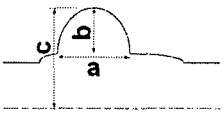
하이드로포밍 성형시 성형성을 향상시키기 위해 AA6061 미열처리 관재를 성형 단계별로 관재 표면을 초기 시편의 표면거칠기 정도까지 폴리싱시킨 후에 그 시편을 다시 재성형시키고, 파단될 때까지의 최대 등가변형률과 표면거칠기를 분석하였다.(Fig. 6) 확관 중심부의 원주방향 확관량에 따라서 확인해본 결과 전반적으로 polishing 을 한 경우 성형성이 향상되었는데, 이는 오렌지필(orange peel) 로 인해 표면에 조기파단되는 것을 억제했기 때문으로, 소성변형 초기나, 넥킹이 일어나는 확관률 28%이후에 표면 polishing 을 한 경우에는 성형성에 거의 영향을 미치지 못했다.

3.3 관재의 변형 양상에 따른 표면의 파단진전 정도 평가



(1) (2) (3) (4)





		specimens			
		(1)	(2)	(3)	(4)
dimension	a(mm)	24.0	22.3	11.6	16.3
	b(mm)	8.0	11.0	13.3	15.3
	c(mm)	41.2	45.1	48.9	49.7
depth of cracks (μm)		6.4	14.2	35.7	43.7

Fig. 7 Crack generated during forming according to the shape of the wrinkle

압출공정에서부터 발생된 표면 결함인 다이스 라인의 하이드로포밍 성형성에 미치는 영향도를 분석하기 위해 Fig. 7 에서와 같이 표면 다이스 라인으로 인한 파단 진전 정도를 여러 부하경로별로 성형시킨 관재 변형 형상별로 표면에 생긴 크랙 깊이를 각각 광학현미경을 이용해 측정하여 그 평균값을 확인한 결과 하이드로포밍 성형 중간 단계에서 금형 확관부로 소재를 유입함에 따라 생기는 wrinkling 의 정도가 심함에 따라 파단 진전 깊이가 더 깊어졌다. 즉 성형압력이 증가하여 주름진 부위가 펴지며 금형 확관부에 다다르기 전에 다이스라인으로 인한 조기 크랙이 발생하여 파단이 일어나는 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 하이드로포밍 성형시 알루미늄 압출관재의 표면 결함이 성형성에 미치는 영향도를 분석했으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) AA6061 압출관재의 경우 소성변형률이 증가함에 따라 Rmax 가 증가했으며, 넥킹 이후 증가 속도가 더 빨라졌다.

(2) 하이드로포밍 성형 도중에 발생한 관재의 표면 거칠기 정도를 polishing 으로 초기 시험편 수준으로 향상시킨 후 재성형시킨 결과 성형성이 현저히 향상되었으며, 넥킹 지점 직전에 polishing 한 시험편의 성형성이 가장 우수했다.

(3) AA6082 압출관재의 표면 결함인 다이스 라인이 성형성에 미치는 영향도를 분석해본 결과 wrinkling 되는 정도가 심함에 따라 파단 진전 깊이가 더 깊어졌다.

참 고 문 헌

[1] Mustafa A. Ahmetoglu, 2000, Manufacturing of structure automotive components from extruded aluminum profiles, International body engineering conference, SAE paper no. 2000-01-2712

[2] H. H. Jo, C. S. Jeong, S. K. Lee, B. M. Kim, 2003, Determination of welding pressure in the non-steady-state porthole die extrusion of improved Al7003 hollow section tubes, Journal of material processing technology, Vol. 139, pp 428~433

[3] V. Pcenas and M. Slamova, 2001, Resistance to recrystallization due to Sc and Zr addition to Al-Mg alloys, Materials Characterization, Vol. 47, pp.157~162

[4] K. Yamaguchi, N. Takakura, S. Imatani, Increase in forming limit of sheet metals by removal of surface roughening with plastic strain, , Journal of material processing technology, Vol. 48, pp 27~34.