

알루미늄 6061 압출재의 제조공정에 따른 온간액압성형성과 기계적 특성 연구

이혜경¹· 장정환¹· 권승오¹· 이영선²· 문영훈[#]

Hydroformability and mechanical properties of Al6061 tubes on different extrusion type

H.K Yi, J. H Jang, S. O Kwon, Y. S Lee, Y. H Moon

Abstract

In this study, hydroformability and mechanical properties of pre- and post- heat treated Al6061 tubes at different extrusion type were investigated. For the investigation, as-extruded, full annealed and T6-treated Al 6061 tubes at different extrusion type were prepared. To evaluate the hydroformability, uni-axial tensile test and free bulge test were performed at room temperature and 200°C. Also mechanical properties of hydroformed part at various pre- and post-heat treatments were estimated by tensile test. And the tensile test specimens were obtained from hexagonal prototype hydroformed tube at 200°C. As for the heat treatment, hydroformability of full annealed tube is 25% higher than that of extruded tube. The tensile strength and elongation were more than 330MPa and 12%, respectively, when hydroformed part was post-T6 treated after hydroforming of pre- full annealed tube. However, hydroformed part using T6 pre treated tube represents high strength and low elongation, 8%. Therefore, the T6 treatment after hydroforming for as-extruded tube is cost-effective. Hydroformability of Al6061 tube showed similar value for both extrusion types. But flow stress of seam tube showed 20~50MPa lower value.

Key Words : Warm hydroforming, Al 6061, hydroformability, free bulge test,

1. 서 론

차체 경량화가 매우 중요한 이슈가 되고 있는 자동차 업계에서는 알루미늄 또는 마그네슘과 같은 경량 금속의 부품 제조 기술이 매우 중요한 전략적 기술이라고 할 수 있다. 현재 전 세계적으로 알루미늄 자동차 부품의 제조에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있으며 현가, 조향 장치 그리고 배기장치를 중심으로 고강도 알루미늄 합금 부품을 적용하고자 하는 노력들이 가속화되고 있다. 최근 TWB(Tailored Welded Blank)와 액압성형(Hydroforming)과 같은 일체화 성형 기술이 차체

구조 단순화와 경량화의 수단으로서 많은 연구가 진행되고 있는데, 이러한 일체화 성형 기술이 알루미늄과 마그네슘 같은 경량금속 부품의 제조에 적용될 수 있다면 차체 경량화 효과를 보다 극대화 할 수 있을 것으로 기대된다[1-2]. 튜브 액압성형은 튜브형상의 원소재를 금형에 장착한 후 튜브 내부에 높은 액압을 부가하여 원하는 형상으로 성형하는 기술이다. 튜브 액압성형 공정을 자동차 부품의 제조에 이용하게 되면 기존의 금속 판재를 스탬핑, 용접, 조립하는 공정을 한 단계의 성형공정으로 대체할 수 있으므로 공정 단순화에

1. 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구센터
2. 한국기계연구원 재료기술연구소 소재성형센터
교신저자: 부산대학교, E-mail:yhmoon@pusan.ac.kr

다른 경제성 향상과 차체 경량화를 동시에 달성할 수 있다. 그러나 액압성형 공정은 공정상 재료의 높은 성형성 요구로 인해 현재까지 주로 철계 재질이 적용되어왔다. 반면, 우수한 비강도로 현재 대표적인 경량재료로 사용되고 있는 알루미늄은 통상적으로 상온에서 낮은 성형성을 보여 액압성형공정의 적용에 많은 제한을 받아왔다. 이러한 상온에서의 낮은 성형성 문제를 보완하여 고강도 알루미늄 튜브에 대한 액압성형 적용 가능성을 높이는 방법으로 온간액압성형 공정을 고려할 수 있다. 이러한 온간액압성형 공정에서는 목표 특성을 만족하면서 경제성 높은 전처리-성형조건-후처리 공정을 포함하는 전 제조 공정을 설계하는 것이 중요한 만큼 본 연구에서는 경제성을 고려하여 제조공정을 달리한 Al 6061 튜브를 종류별로 전처리 한 다음 자유확관 시험을 통해 온간 액압성형성에 대해 고찰하였고, 또한 전처리된 튜브로 육각형상 액압성형을 하고 난 다음 다양한 후처리를 통해 기계적 특성에 미치는 전, 후처리의 영향에 대해서도 평가하고자 하였다.

2. 실험 방법

연구에 사용된 Al6061 튜브는 무접점 간접압출(Seamless indirect extrusion)과 접점 직접압출(Seam direct extrusion) 공정에 의해 제조된 것으로 크기는 외경 50.8mm, 두께 5mm 이다. 열처리 조건에 따른 영향을 분석하기 위해 성형 전 열처리 조건을 미열처리(F), 완전 풀림(O), T6 처리의 세가지로 하였다. 일축인장시험을 위한 인장시험편은 ASTM E8 규격을 따랐으며, 사용된 시험기는 승온에 따른 변형특성평가를 위해 외부에 가열 챔버를 부착하였다. 승온 속도는 0.3°C/s 이며 시험편은 각각의 시험온도에서 온도 편차를 줄이기 위해 20 분간 유지되었다. 온도와 변형률 속도에 따른 변형거동을 평가하기 위해 상온~300°C의 온도범위에서 0.1/s, 0.01/s, 0.001/s 로 각각 시험을 수행하였다. 튜브의 전처리 조건과 온도에 따른 액압성형성은 비구속 형태의 자유확관 시험을 통해 분석하였다. 먼저 80T 프레스를 이용한 튜브 액압성형 시스템을 Fig. 1 에 나타내었다. Fig. 1 에 보는 바와 같이 튜브의 급속한 가열을 위해 유도가열과 내부의 액체 가열 시스템을 동시에 이용하여 시험 온도까지 균일 승온시켰다. 자유확관 시험은 소재의 양 끝단을 편치로 실링(sealing)하고 튜브의 내부

를 액체로 채운 다음, 시험 온도까지 승온시킨 후 증압기(intensifier)를 이용하여 파단이 일어날 때까지 내부 압력을 가하게 된다(Fig.2 (a)). 이 때 파단된 튜브의 확관율을 측정함으로써 튜브의 전처리 조건에 따른 액압성형을 평가하였다. 전·후처리 조건에 따른 액압성형품의 기계적 특성을 알아보기 위해서는 육각형상의 확관 모델을 자체적으로 설계하여 시험하였다. 성형 전 튜브는 미열처리(F), 완전풀림(O), T6 처리의 세가지 전처리를 거치고 육각형상으로 액압성형 된 후 미열처리와 완전풀림된 튜브의 성형품에 대해서는 T6 후처리하였다. 튜브의 전, 후처리 조건에 따른 기계적 특성의 변화를 관찰하였다. 기계적 특성은 육각형상 성형품의 각 면에서 인장시험편을 채취하여 상온 인장시험을 통해 고찰되었다.

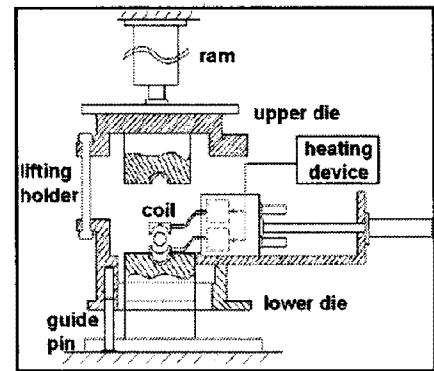


Fig. 1 Schematic drawing of warm hydroforming system

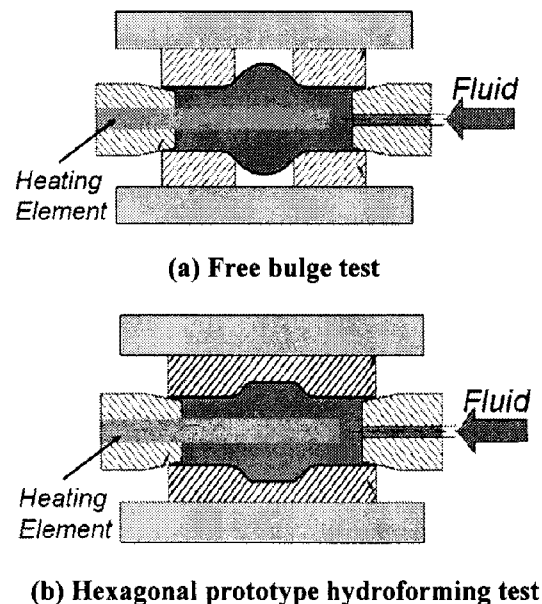


Fig. 2 Schematic drawing of hydroforming model

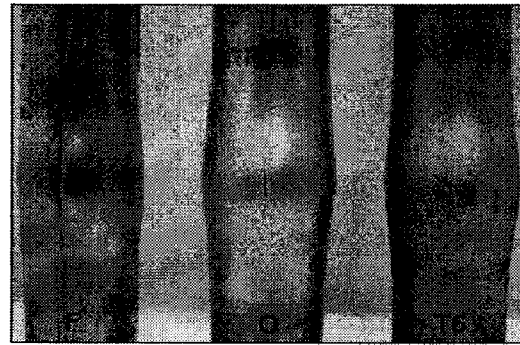
3. 실험 결과 및 고찰

튜브의 액압성형의 경우에는 소성변형을 일으키는 응력이 길이 방향과 함께 원주 방향으로 변형이 일어나게 된다. 따라서 일축인장시험만으로는 액압성형성을 평가하는 것이 적절하지 못하기 때문에 자유확관시험을 통해 실 성형시 파단 발생 방지를 위한 성형한계를 나타내는 확관율을 구하였다. 전처리 된 튜브의 양 끝단을 펀치로 실링한 후 250℃로 가열 한 후 소재의 유입을 20mm 로 하여 파단이 발생할 때까지 압력을 가하였다. 튜브 내부에 액압을 받아 파단에 이른 튜브를 제조 공정 별로 Fig. 3 에 나타내었다. 액압을 가함에 따라 확관되어 최대 반경에 이른 후 길이 방향으로 파단이 일어났음을 관찰할 수 있다. Fig. 3 의 확관튜브에서 보는 바와 같이 완전폴림된 튜브가 미열처리된 튜브에 비해 확관율이 높을 뿐 아니라 균일한 변형이 일어났음을 알 수 있다. 반면, T6 처리된 튜브는 확관율도 좋지 않을 뿐 아니라 가장 불균일한 변형형태를 보이는 것으로 나타났다. 하지만 그다지 높은 성형성을 요구하지 않고 강성이 중요시되는 부품에 적용될 경우에 성형 후 후열처리공정을 줄일 수 있어 후열처리시 발생하는 공정증가와 제품의 뒤틀림현상등을 방지할 수 있는 장점이 있다고 판단된다. 한편, 확관율을 측정한 결과 직접압출재인 경우 F, O, T6 의 순으로 26, 32, 27%로 나타났고, 간접압출재인 경우에는 경우 F, O, T6 의 순으로 29, 33, 25%로 나타나 제조공정에 따라서는 큰 차이를 나타내지 않음을 알 수 있다. 여기서 특이한 점은 직접 접점(Direct Seam)튜브의 특성이다. 직접 접점 튜브의 경우는 포트 홀(Porthole) 다이 등을 이용하여 생산되는 만큼 매우 경제적으로 소재를 제조할 수 있는데 소재가 분류되었다가 포트홀에서 다시 모여 압출이 이루어지는 만큼 소재가 다시 합쳐지는 부위에서 발생 가능성이 있는 결합력 부족 현상이 우려되기 때문에 경제적이지만 고려하기 곤란했었다. 그러나 Fig. 4 에 나타낸 바와 같이 확관되어 파단에 이른 튜브의 단면을 관찰해보면 파단이 접점 부위에서 나타나지 않음을 알 수 있다. 온간 액압 성형시 결합 부위가 취약하면 모재의 성형성을 충분히 활용하지 못한 상태에서 결합이 발생될 수 있는데 결합부위(seam mark)에서 크랙 발생이 나타나지 않아 분류되었던 소재가 다시 결합된 부위에서의 결합력이 충분한 것으로 판단

된다. 후처리 조건에 따른 기계적 특성을 분석하기 위해 육각형상으로 확관한 액압성형품을 Fig. 5 에 나타내었다. 열처리 조건에 따른 성형성 연구와 함께 전· 육각형상으로 확관된 액압성형품의 각 면에서 시편을 채취해 상온인장시험을 통해 기계적 특성을 평가하였다. 미열처리(F), 완전폴림(O), T6 로 전처리한 튜브의 액압성형품과 미열처리, 완전 폴림처리된 액압성형품을 다시 T6 로 후처리한 액압성형품에 대해 평가하였고 각 성형품의 강도와 연신율을 Fig.6 에 나타내었다.



(a) direct extrusion type



(a) direct extrusion type

Fig. 3 Bulged tubes at different pre-heat treatment

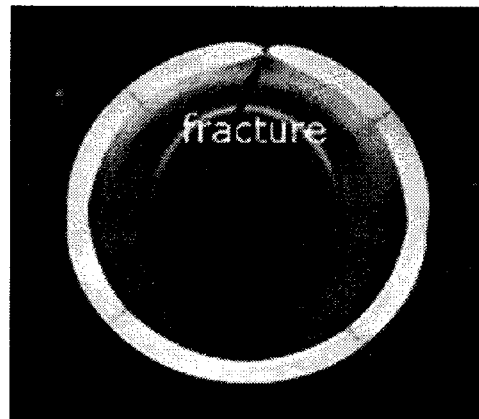


Fig. 4 Cross section of bulged seam direct tube

미열처리와 완전풀림으로 전처리한 튜브의 액압성형품은 강도는 성형전과 유사한 결과를 나타낸 반면 연신율은 성형 후 3~8%정도 감소하는 결과를 나타내었다. 미열처리된 튜브의 액압성형품을 다시 T6 후 처리한 경우에는 강도가 150MPa, 연신율이 5%정도 증가하는 결과를 나타내어 경제성을 고려한 공정설계에 충분히 고려될 수 있을 것으로 판단된다. 또한 간접압출재의 경우 높은 확관율을 나타내었던 완전 풀림된 튜브는 T6 후 처리를 통해 강도를 336MPa, 연신율을 11.8%까지 증가시킬 수 있어 높은 성형성과 강도를 요구하는 부품에 적합할 것으로 예상된다. 반면, 아주 낮은 성형성을 보여주었던 T6 전처리한 튜브의 액압성형품의 경우에는 강도가 340MPa, 연신율이 8%정도로 나타나고 있어 적절한 설계 및 부품 조건하에서는 성형 후 후열처리 공정을 제거할 수 있는 경제적 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다. 두께가 얇은 튜브의 경우, 성형 후에 T6 와 같은 후열처리 공정을 거치게 되는 동안 성형품의 형상이 치수가 변형될 수 있기 때문에 그러한 측면에서는 T6 전처리된

튜브가 아주 유용하게 이용될 것으로 판단된다. 간접압출재의 경우 특이한 사항은 풀림 처리 후 성형을 거쳐 T6 열처리를 수행한 경우의 특성과 성형전 T6 열처리를 한 후 성형 후 열처리를 생략한 경우가 동일한 기계적 성질을 나타내고 있다는 사실이다. 이는 경제성을 고려하여 공정을 설계하기 위해 고려한 공정의 실효성을 입증해 주고 있는 것이기 때문에 현장 적용에 많은 가능성을 부여하고 있는 것이라 사료된다.

4. 결론

- (1) 제조공정과 전처리를 달리한 Al6061 튜브의 액압성형성을 평가하기 위해 자유확관시험 후 확관율을 측정된 결과 완전풀림된 튜브의 확관율이 T6 나 미열처리 튜브에 비해 4~8% 정도 높게 나타났다. 미열처리와 T6 처리한 튜브는 25~29%의 확관율로 비슷한 경향을 나타내었다. 또한 제조공정에 따른 차이는 미흡한 것으로 나타났다.
- (2) 미열처리, 완전풀림, T6로 전처리한 액압성형품과 미열처리, 완전풀림으로 전처리한 액압성형품을 다시 T6로 후처리한 액압성형품의 기계적 특성을 평가한 결과 간접압출재의 경우는 미열처리시 240MPa, 완전풀림시 125MPa으로 액압성형중에 떨어진 강도를 T6 후처리함으로써 340MPa이상으로 회복할수있었고, T6전처리한 튜브의 액압성형품의 경우에는 강도는 340MPa로 유지되었지만 연신율은 다소 감소하는 경향을 나타내었다. 직접압출재의 경우에도 열처리 별로 간접압출재와 유사한 경향을 나타내었고, 간접압출재에 비해 상대적으로 20~80MPa정도 낮은 강도를 갖는 것으로 나타났다.

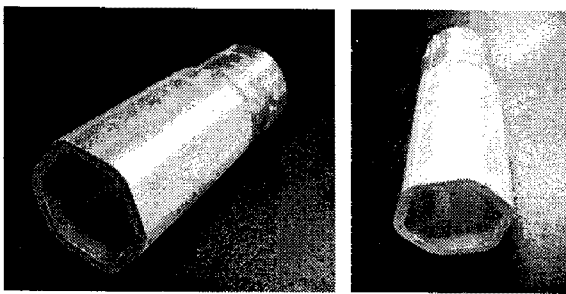


Fig. 5 Hexagonal shaped hydroformed part

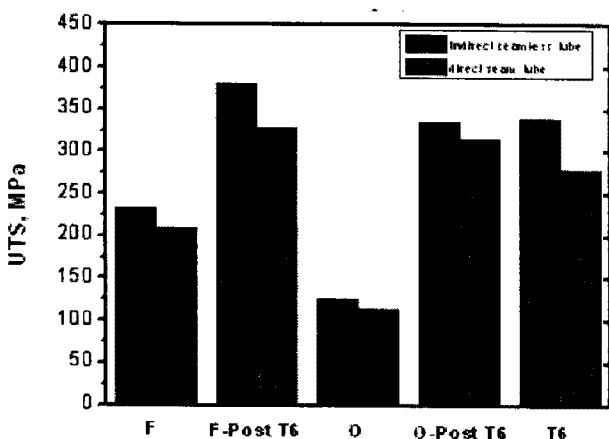


Fig. 6 Comparison of mechanical property with different extrusion type

참고 문헌

- [1] S. Novotny and P. Hein, 2001, J. Mater. Proc. Tech. Vol.115, p.65
- [2] S. Novotny and M. Geiger, 2003, J. Mater. Proc. Tech. Vol.138, p.594
- [3] M.Y. Lee, S.M. Sohn, C.Y. Kang, D.W. Suh and S.Y. Lee, 2004, J. Mater. Proc. Tech., Vol 155-156, p.1337
- [4] Latham, D.J. and Cockroft, M.G., Feb, 1966, The effect of stress system on the workability of metals, NEL Report No.213