

알루미늄 합금 볼트성형에서 시효경화의 영향 Effects of Age-hardening in Forming of Al Alloy Bolts

*윤덕재¹, 김응주¹, 이승현², 윤상현³, #이용신⁴

*Duk-Jae Yoon¹, Eung-Zoo Kim¹, Seunghun Lee², Sang-Hun Yoon³, #Yong-Shin Lee(yslee@kookmin.ac.kr)⁴,

¹ 한국생산기술연구원, ² ㈜선일다이파스, ³ 국민대 기계설계학과, ⁴ 교신저자 국민대

Key words : Ageing, Al Alloy Bolt, Extrusion, Finite Element Method

1. 서론

알루미늄 합금은 많은 산업 구조재 가운데 경량이면서 강도와 내식성 그리고 재생성이 우수한 재료이다. 기존 강재에 비하여 비강도가 크고 외관이 우수하며 내식성이 뛰어나기 때문에 그 적용범위가 계속 확대 되어 가고 있다. 기존의 강재와 비교하여 다소 강도가 낮은 것은 다양한 합금 성분의 추가 및 미세조직 제어를 통하여 고강도화로 보완이 이루어지나, 대체로 알루미늄 합금은 성형성이 떨어지는 약점이 있다.

한편, 알루미늄 합금 특성향상을 위해 주조조직 제어, 석출제어, 결정립 미세화, 집합조직조절 등의 결정제어 기술이 사용되며 각 용도에 따라 적절한 합금성분첨가 및 가공 열처리 법을 도입 함으로서 종래기술의 한계를 넘어 여러 가지 특성이 우수한 알루미늄 합금을 만들 수 있다. 기존의 Al-Zn-Mg 합금인 A7003 합금은 인장강도 320MPa, 연신율 10%이상의 기계적 특성을 얻을 수 있으나 압축성 및 충격치가 떨어지는 현상을 보여 체결용 부품으로 적합하지 않은 단점을 가지고 있다.

본 저자들은 지난 연구에서 알루미늄 7000 계열 합금 몇 가지를 개발하여 체결용 볼트성형에 적용하였다.[1] 지난 연구에서 개발된 알루미늄 합금들 중에 BM76 으로 명명된 소재는 가공공정변화에 따른 결정립 미세화 및 시효경화의 적절한 조합에 의하여 원하는 물성을 얻게 된다. 이러한 시효경화형 합금은 시효경화 발생전의 처리와 시효조건에 따라 성형성에 큰 차이가 있는 것으로 나타나고 있어 시효경화 영향에 관한 연구가 필요하다. 이에 시효경화 이전에 균질화 열처리(풀림)를 한 소재와 상온 시효경화를 통하여 강도를 높인 소재의 볼트성형 공정의 실험과 유한요소해석을 병행하여 그 특성을 조사하고자 한다.

2. 실험

실험에 사용된 재료는 BM76 이며 알루미늄 7000 계열에 Sc 를 소량 추가하여 충격특성을 향상 시키고, 단조성을 향상시키도록 개발되었다. BM76 은 성형 전에 균질화 처리를 하는데 이는 통상 주조시 발행한 조대한 금속간 화합물을 고용시키는 목적으로 행하는 열처리이다. 볼트 몸체의 압출과 볼트머리 성형을 위한 단조-압출을 혼합하는 볼트성형 순서도가 Fig. 1 에 보여진다. 균질화 처리된 BM76 을 실 내에서 4 주정도 자연 방치하여 시효경화효과를 주었다.

균질화 처리 직후의 BM76 을 갖고 볼트성형 한 경우에는 눈으로 확인되는 미세크랙 등이 없이 성공적인 성형을 확인 할 수 있었다. 반면에 실내에서 시효경화된 BM76 을 갖고 볼트성형 실험을 수행한 경우에는 Fig. 2 에서 보여지는 바와 같이 볼트머리와 몸통을 연결하는 플랜지 부위에 눈으로 확인되는 몇 개의 크랙이 발견되었다. 이것은 처음 3 개의 압출공정에는 없었으나, 최종 볼트머리 성형공정에서 발생되었다. 최종 단계에서는 볼트 머리부에서 플랜지가 생성될 때에 커다란 소성변형이 요구되며 이 과정에서 플랜지부에 걸리는 과도한 원주방향 인장에 의해 크랙이 발생된 것으로 사료된다. 이러한 분석은 유한요소해석 결과로 보완될 수 있다.

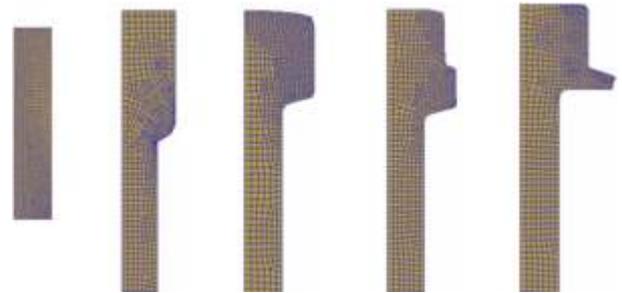


Fig. 1 Procedure for aluminum alloy bolt forming.

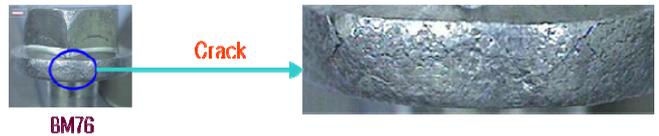


Fig. 2 The crack in the age-hardened BM76 after bolt forming.

3. 유한요소해석

볼트 성형의 유한요소해석에 필요한 소재의 물성은 균질화 처리된 BM76 의 시효경화 전과 후의 소재로 압축실험을 하여 얻었으며 Fig. 3 에 응력-변형률 선도가 주어진다. 실험에서와 같은 조건으로 유한요소해석을 수행하였다. 실제의 볼트 성형은 3 차원 해석을 요구하나, 효율성을 고려하여 2 차원 축대칭 유한요소해석을 수행하였다. 본 연구의 유한요소해석은 상용의 유한요소 패키지인 Deform 2D 를 이용하였고, 결함해석은 Deform 2D 패키지에 내장되어 있는 Cockcroft 모델을 이용하였다. 앞 절에서 소개된 소재의 압축 실험으로 소성변형 해석에 필요한 물성 데이터를 얻고, 파단시까지의 업셋팅을 수치해석으로 모델링하여 파단시의 결함 값을 얻었다.

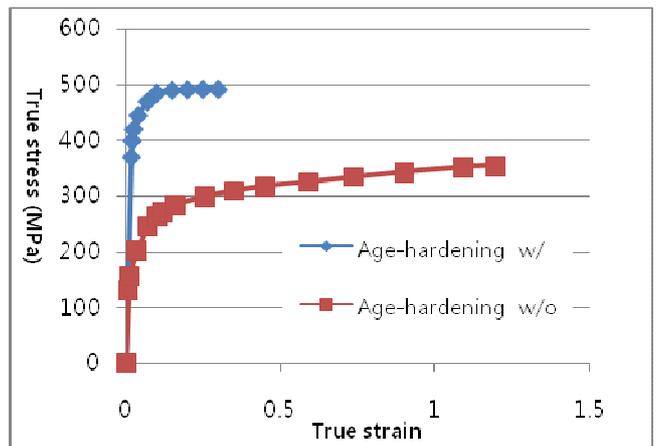


Fig. 3 True stress - true strain diagram of BM76 before and after age-hardening.

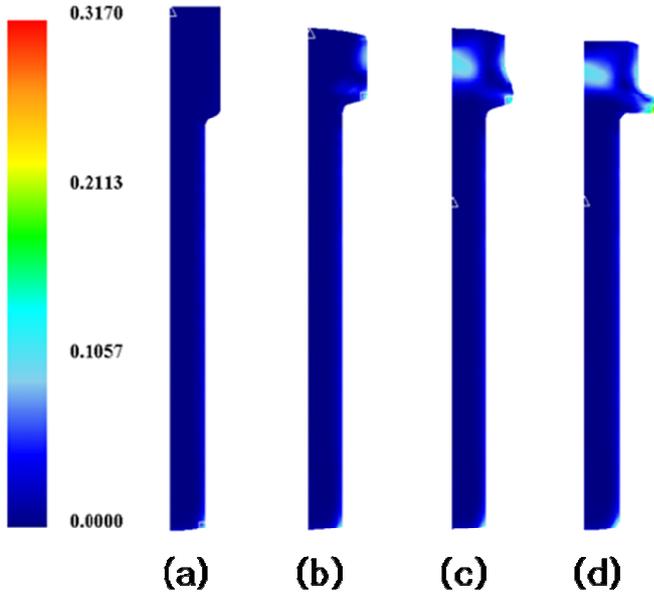


Fig. 4 Distribution of accumulated damage in BM76 without age-hardening : Maximum (critical damage 0.4919)
 (a) 0.1224 (b) 0.1289 (c) 0.1405 (d) 0.3171

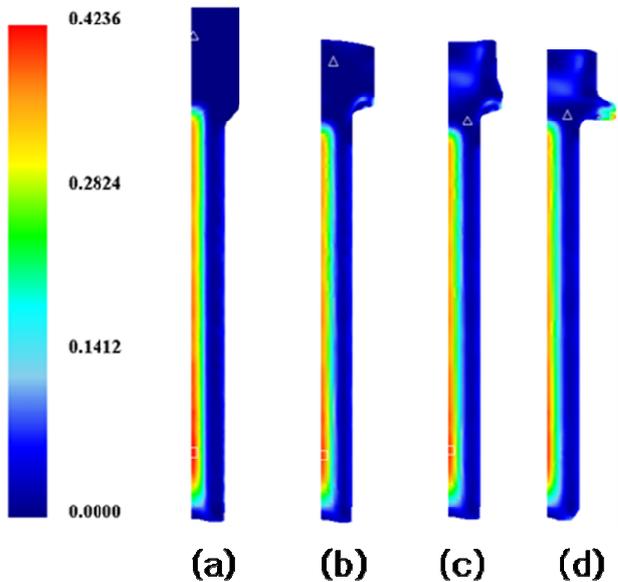


Fig. 5 Distribution of accumulated damage in BM76 with age-hardening : Maximum (critical damage 0.114)
 (a) 0.4236 (b) 0.4075 (c) 0.4066 (d) 0.4062

Fig. 4에서는 BM76을 제조하고 균질화 열처리 직후에 상온 시효경화를 겪기 전에 볼트성형공정의 유한요소해석한 결과를 보여주고 있다. 유사한 공정의 성형특성에 관한 결과와 분석은 참고문헌[1]에 주어져 있어 여기에서는 결함 성장에 관한 것만을 보여준다. 단축 압축의 결함해석에서 크랙이 발생하는 임계결함값(Critical Damage)은 0.4919로 주어졌다. 한편 유한요소해석에서는 볼트성형의 모든 단계에서 내부에는 볼트 머리부에서 결함의 최대치가 0.1 이하이고, 플랜지 표면 근처에서 결함의 최대치가 0.317로 나타나서, BM76 볼트 내·외부 모두에서 크랙이 발생되지 않을 것으로 예측되었다. 또한 이러한 예측은 실험에서 볼트 외부에는 가시적인 크랙이 발생치 않은 것과 일치한다.

Fig. 5에서는 균질화 열처리된 BM76을 상온에서 자연 방치하여 시효경화를 겪게한 재료의 볼트성형공정에 관한 유한요소해석 결과를 보여주고 있다. 시효경화를 겪지 않은 경우와 비교하면, 유효응력과 변형률 분포는 비슷한 것으로 나타났으나 성형하중은 시효경화된 소재의 높은 항복강도로 말미암아 두 배 이상이 요구된 것으로 나타났다.

이에 따라 시효경화를 겪은 볼트성형 중에는 평균응력의 크기도 훨씬 커서 결함의 성장을 촉진시킬 것으로 예측된다. 시효경화된 BM76 소재의 단축압축의 유한요소해석에서 임계결함값은 0.114로 주어졌다. 볼트성형의 모든 단계에서 볼트 몸통 내부와 외부에서는 플랜지 표면에서 최대 결함값이 0.4 이상으로 주어져 크랙이 발생할 것으로 예측되었으며, 이러한 현상은 실험에서 관측되는 현상과 일치한다. 알루미늄 합금인 BM76의 경우에 상온에서의 시효경화도 성형성을 현저히 저하시키는 것으로 조사되었으며, 볼트성형시에 유의사항으로 지적된다.

4. 결론

비철재료 부품 체결용으로 개발한 고강도 경량의 알루미늄 합금 BM76의 볼트 성형에서 시효경화의 영향을 조사하기 위하여 실험과 유한요소해석을 병행하였다.

시효경화 없는 알루미늄합금 BM76 소재의 볼트성형은 성공적이었으나, 시효경화된 소재를 갖고 볼트 성형한 경우에는 볼트머리와 몸통을 연결하는 플랜지 부위에 크랙이 발생되었다. 결함성장을 포함한 유한요소 해석은 플랜지 부위의 과도한 인장에 의해 결함이 성장하여 크랙이 발생하는 것을 예측하였고, 플랜지 부위의 표면 외에도 중심부에서도 크랙이 있을 것으로 예측하였다.

볼트성형 실험과 유한요소해석의 결과로부터 알루미늄합금의 경우에 시효경화는 강도를 높이거나 연성과 성형성을 현저히 저하시키는 것을 재확인하였다.

후기

본 연구는 지식경제부 생산기반기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. D-J Yoon, E-Z Kim, S. Lee, Y-S Lee, S-H Yoon, 2008, Damage Evolution and Deformation Characteristics in Forming of Al Alloy Bolts, KSPE Spring Meeting, pp. 903~904.
2. J-H Park, Y Kwon, Y-S Lee, S Kang, B Lee, J-H Lee, 2004, Effect of Alloying Elements on the Tensile Property of Al-Mg-Si Alloy, KSTP Fall Meeting, pp. 234~237.
3. N-Y Kim, J. Kim, Yeom, D. Lee, S. Lim, N-K Park, 2006, Effect of Processing Condition on the Hot Extrusion of Al-Zn-Mg-Sc Alloy, Trans. of Materials Processing, Vol. 15, No. 2, pp. 143~147.
4. D-J Yoon, K-H Na, C. Cho, The Microstructure of AZ31 Mg Alloy by Forward Extrusion with Various Extrusion Parameters, Materials Science Forum, Vol. 539-543, pp. 1818~1823.
5. Deform 2D, Scientific Forming Technology Corporation.