

# 반응고 성형된 자동차용 알루미늄 합금 부품의 기계적 강도 특성에 미치는 성형 결함의 영향

김찬현<sup>1</sup>, 최병현<sup>1</sup>, 이상용<sup>#</sup>

## The Effects of Forming Defects on the Mechanical Properties of Thixoformed Aluminum Parts for Automobile

C. H. Kim, B. H. Choi, S. Y. Lee

### Abstract

The thixoforming process become important for forming automobile parts. But, the thixoforming process cannot still prevent to forming defects such as pores and shrinkage which reduce mechanical properties of automobile parts. Therefore, it is necessary to analyze the correlation between forming defects and mechanical properties. However, it is difficult to get data about relations between mechanical properties and forming defects in thixoformed aluminum alloy parts. In this study, three parts of aluminum thixoformed knuckle have been analyzed using tensile test and computer tomography(CT scan). Experimental results showed that the elongation properties of thixoformed aluminum parts were significantly dependent on size and number of forming defects.

**Key Words** : thixoforming, aluminum alloys, forming defects, stress-strain curves, computer tomography

### 1. 서론

최근 자동차나 기계부품의 소재로 기존에 이용해 왔던 철계 부품을 알루미늄, 마그네슘, 티타늄 등 경량재료로 대체하여 에너지효율을 높이는 방안이 연구되고 있다. 특히, 자동차 부품의 경우 차체 경량화를 위해 현가장치, 조향장치, 자동차 차대를 알루미늄합금으로 대체하고자 하는 노력이 이루어지고 있다[1]. 또한, 제품생산에 반응고 금속성형공법을 적용하여 생산시간과 다이 수명의 연장을 통하여 생산 단가를 줄이는 방향으로 개발되고 있으며, 특히 다이캐스팅에 반응고 성형법을 적용하여 기존의 기포, 수축공 등과 같은 액상결함을 보완하는 방법이 보고되고 있다[2]. 그러나 반응고금속성형법 또한 주조결함의 완벽한 방지가 이루어 지지 않고 수축공, 액상편석과 같은 액상 결함이 발생가능하며 이들 결함이 자동차 부품의 기계적 특성에 미치는 영향에 대한 충분

한 선행연구가 이루어지지 않았다[2,3]. 따라서 본 연구에서는 이러한 결함이 기계적 특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 6061소재를 이용하여 자동차 부품인 너클을 제작하고 각 부위에서 인장시편을 채취하여 인장시험과 CT(computer tomography)촬영을 통하여 너클 내부의 결함과 기계적 성질의 상관관계에 대하여 조사하였다.

### 2. 실험방법

본 연구에 이용된 6061소재의 너클의 성형조건은 최적의 구상화 조직을 얻을 수 있도록 액상에서 응고시 전자기적 교반을 통해 11인치의 빌렛을 제조하였고, 제조된 빌렛은 반응용 영역까지 가열하여 3인치로 압출하였다. 이후 빌렛 표면의 이상조직에 의한 성형결함을 줄이고자 표면을 약 5mm정도 가공하여 직경65mm가 되도록 하였고 반응고 영역까지 재 가열하여 최종 제품을 제조

1. 국립안동대학교 대학원 재료공학과  
# 교신저자: 국립안동대학교 신소재공학부,  
E-mail: sylee@andong.ac.kr

하였다. 빌렛 가열시 목표온도는 약 646℃이며 목표온도까지 가열시간은 6분 40초, 목표온도 도달 후 1분간 온도를 유지한 후 성형하였다. 성형품의 열처리는 성형 직후 소둔 처리 하였다[3]. Fig. 1은 너클을 각 부위별로 구분한 것으로 B와 E부위를 제외한 곳에서 인장시편을 채취하였다. 인장시험은 MTS 810장비를 이용하여 시험을 행하였고, 인장시험에 이용된 시편의 치수는 Fig. 2와 같다.



Fig. 1 Specimen positions in the thixoformed knuckle

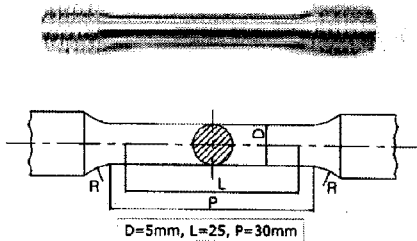


Fig. 2 Tensile test specimens

인장시편 및 너클의 CT촬영은 생산기술연구원의 산업용 단층촬영기(Industrial Computer Tomography)를 이용하여 측정하였고 측정된 이미지는 이미지분석 프로그램과 동영상 편집기를 이용하여 분석하였다. 인장시편의 명칭은 너클에서 채취한 부위의 명칭을 사용하였다. CT촬영의 결과는 인장시험과의 연관성을 위해 인장시편의 표점거리에서 발견된 결함만 분석하였고 CT촬영 이미지상 파악이 힘든 170 $\mu$ m미만의 결함은 본 실험에서는 고려하지 않았다.

### 3. 실험결과

각 인장시편의 결함의 수, 면적, 분포 및 크기를 Fig. 3에 나타내었다. A와 D부위에서 채취한 시편은 결함이 국부적으로 몰려있고, C 부위에서 채취한 시편은 전 부위에 걸쳐 결함이 존재하나 중심부위에 결함의 분포가 높음을 보여준다. 측정된

각 인장시편내 결함의 수는 A시편에서 11개, C시편에서 46개, D시편에서 13개의 결함이 발견되었고, 인장시편의 면적 중 결함이 차지하는 비율은 A시편이 0.4%, D시편이 0.5%이고, C시편은 1.4%로 약 3배정도 높게 나왔다, 실제 인장시험 후 파단이 일어난 부위는 Fig. 4에서 보여주며 Fig. 3과 비교해 볼 때 결함이 집중된 부위에서 파단이 일어남을 확인하였다. CT촬영 이미지를 통해 측정된 각 인장시편내 결함의 크기와 수는 미세한 차이를 보이고 있었다. A시편은 230~240 $\mu$ m크기의 결함이 상대적으로 많았으며 결함의 평균 크기는 216.36 $\mu$ m로 측정되었다. C시편은 190~210 $\mu$ m크기의 결함이 총 결함 수 46개중 31개나 되었고 결함의 평균 크기는 198.26 $\mu$ m로 측정되었다. D시편은 190~200 $\mu$ m크기의 결함과 240~250 $\mu$ m크기의 결함의 분포가 조금 높게 나왔으며 결함의 평균크기는 208.46 $\mu$ m이다. 위 결과는 Fig. 5에 도시하였고 각 시편의 인장시험 결과는 Fig. 6과 같이 응력-변형률 곡선으로 표시하였다. A시편의 최대인장강도(ultimate tensile strength)는 195MPa이며 연신률은 19.5%를 나타내었다. C시편은 198MPa에서 파단이 일어났고 연신률은 12.2%이다. D시편은 209MPa에서 파단이 일어났으며 연신률은 17.2%이었다.

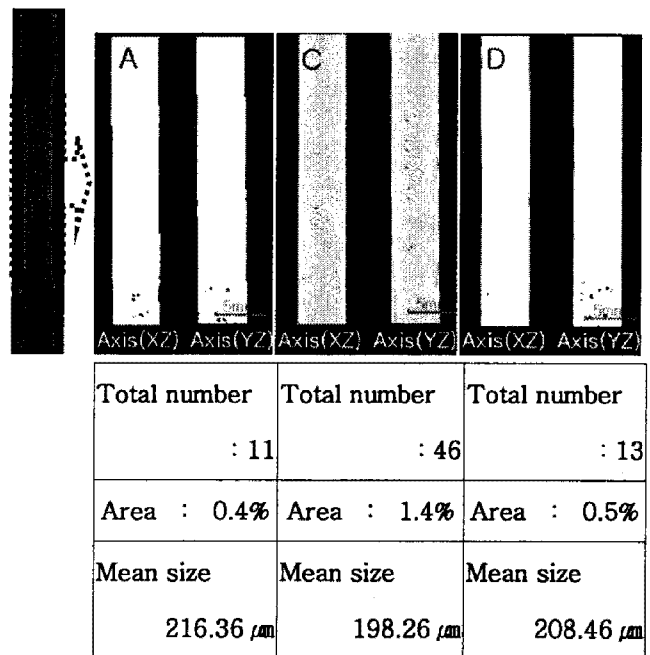


Fig. 3 CT results showing the position and the appearance of forming defects in the tensile test specimens

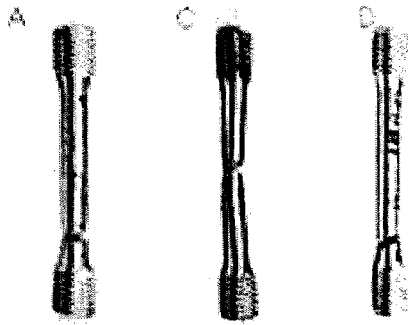


Fig. 4 Appearances of specimens after tensile test

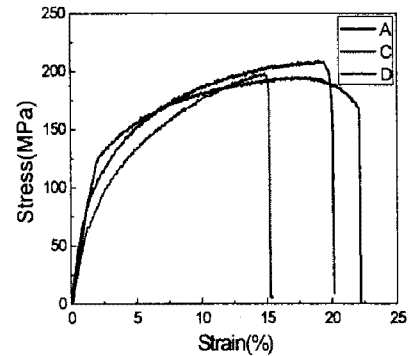


Fig. 6 Stress-strain curves of the specimens A, C, D

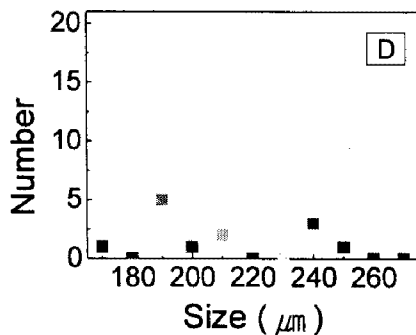
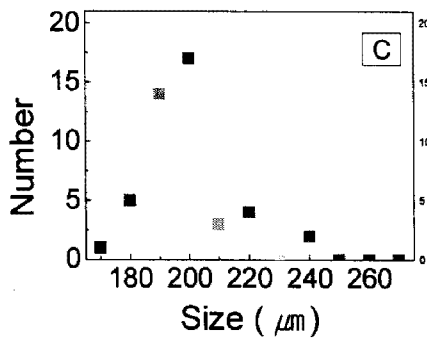
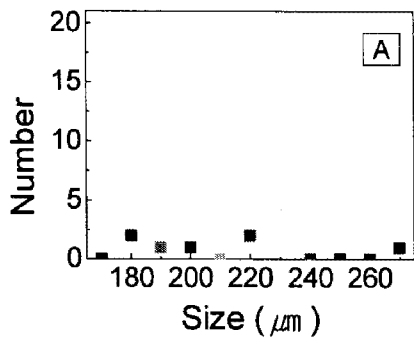


Fig. 5 Sizes and numbers of defects in the specimens A, C and D

#### 4. 결론

본 연구에서는 6061 소재로 반응고 성형법을 이용하여 제조한 자동차용 알루미늄 합금 부품인 너클의 각 부위별 결함의 분포와 크기가 인장곡선에 미치는 영향을 분석하였다.

(1) 각 부위에서 채취된 인장시편의 CT 촬영의 결과 A 와 D 부위에서는 결함의 분포와 수, 결함이 차지하는 면적이 유사하나 C 부위에서 결함의 분포가 높은 점을 볼 수 있다. 따라서 CT 촬영 결과를 토대로 너클 생산공정의 개선 및 형상 설계의 개선이 보완되어야 할 것이다.

(2) 응력-변형을 곡선을 볼 때 시편의 강도는 내재된 결함의 수와 크기에 따르며 A 와 D 를 비교해 볼 때 결함의 크기보다는 총 결함의 수와 면적에 더 민감하게 영향을 받음을 유추해 볼 수 있었다.

#### 참고 문헌

- [1] W.L Winterbottom, 2000, "Semi-Solid Forming Application : High Volume Automotive Products" 6th Semi-Solid Processing of Alloy and Coposites 73-78.
- [2] Keshavaram, G. Seiler, D. DeWitt, 2000, "Aluminum Alloys for Automotive Knuckle Castings" SAE transactions v.109 no.5 pp.725-744
- [3] 이상용, 2003, "반응고성형법에 의한 고강도 알루미늄 소재 및 제품의 정형제조기술 개발" 산업자원부 보고서.