

정수압 압출 소재의 열처리 조건에 따른 마그네슘합금(AZ31)의 특성 변화

서영원¹, 최호준², 윤덕재[#]

Characteristics of Extruded Mg alloy(AZ31) for various annealing temperatures

Y. W. Seo, H.J. Choi, D. J. Yoon

Abstract

Restoring ductility or removing residual stresses is a necessary operation when a large amount of cold working is to be performed, such as in a cold-forging or warm forging process. The advantage of annealing temperatures was investigated. After Hydrostatic Extrusion process, extruded materials were annealed at 200 °C, 350 °C, 450 °C for 1 hour. Microstructure of the annealed material was observed to make an understand about the difference in mechanical properties.

Key Words : Hydrostatic Extrusion(정수압 압출), Magnesium alloy(Mg 합금), Die Angle(다이 각), Half Die Angle(다이 반각), Extrusion Ratio(압출비)

1. 서론

마그네슘 합금은 높은 비강도와 밀도가 낮아 공업적으로 많은 장점을 가지고 있다. 이러한 마그네슘의 특성들은 항공산업, 자동차산업 및 스포츠 산업에서 오래전부터 요구 되어온 특성들이다. 그러나 마그네슘 합금은 HCP 구조로 그 성형성이 좋지 않기 때문에 대부분 다이캐스팅 공정에 의해 제품이 생산되고 있다.

그러나 다이캐스팅에 의한 제품은 강도측면에서 결함을 나타내어 소성가공 공정을 통해서 제품

을 생산하고자 하는 연구가 진행되고 있다.

따라서 본 연구에서는 향후 마그네슘 합금의 제품 개발에 있어서 소재 물성의 특성 변화 파악과 인장강도, 연신율 등의 향상을 위해서 정수압 압출을 통해서 얻어진 소재를 열처리 조건에 따라 소재의 기계적 물성특성 변화를 조사하였다. 어닐링 조건이 기계적 특성 및 미세구조에 미치는 영향에 대하여 분석하였고, 또한 균질화 처리와 어닐링에 대해 비교 검토하였다.

1. 인하대학교 기계공학과

2. 한국생산기술연구원

#. 교신저자: 한국생산기술연구원, ydj@kitech.re.kr

2. 실험 방법

2.1 열간정수압 압출

압출기는 한국생산기술연구원에서 개발한 수평형 열간 정수압 압출기로 Fig. 1에 보는 것과 같이 bed, tie-bed, moving cross head, punch로 구성된다.[1] 압출기의 주요 사양은 Table 1에 정리하였다.

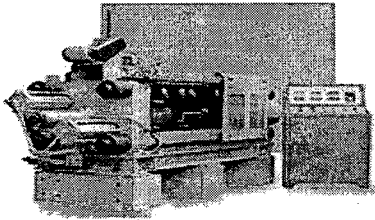


Fig. 1 Hot Hydrostatic Extruder

Table 1 Specification of hot hydrostatic extruder

Extrusion Force	150 tonf
Max. Extrusion Pressure	12.0 Kbar
Max. Punch Speed	22.5 mm/sec
Max. Billet Diameter	35 mm
Max. Billet Length	200 mm
Container Heating Temperature	400 °C
Hydraulic Power	40 kW

압출 소재는 마그네슘합금(AZ31) 주조재를 사용하여 압출비 8로 압출하였다.

$$\text{Extrusion Ratio} = \frac{A_f}{A_o} \quad (1)$$

정수압 상태를 형성하기 위한 압력 매체는 선형 저밀도 폴리에틸렌(LLDPE)을 사용하였다. 실험 온도는 300°C, 250°C, 200°C로 일정하게 유지하였다.

압출 전의 마그네슘 시편을 Fig. 3에 나타내었다. 시편의 직경과 길이는 각각 ϕ 35mm, 160mm이다. 시편의 앞 부분은 압출초기 압력을 유지하기 위하여 다이 각과 동일하게 원추 형상으로 가공을 하였다.

실험 조건을 Table 2에 요약 정리하였다.

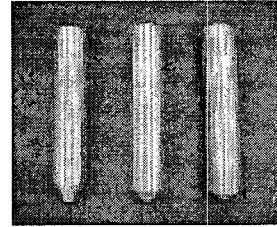


Fig. 2 Extrusion Specimen

Table 2 Experiments Conditions

Temperature	300°C, 250°C, 200°C
Extrusion speed	20 mm/sec
Diameter of Specimen	Φ 35 mm
Die Angle	60°
Extrusion Ratio	8

2.2 열처리

어닐링은 마그네슘 소재의 산화를 막기 위해 진공상태에서 어닐링을 실시하였다. 어닐링의 온도는 각각 200°C, 350°C, 450°C에서 실시하였다. 승온 속도는 3 °C/min으로 하였고, 유지는 1시간 동안 유지한 후 가열로 안에서 냉각을 시켰다. 이번 실험에서는 압출 온도 300°C, 250°C 시편을 가지고 어닐링을 실시하였다.

균질화 처리는 400°C에서 10시간 동안 열처리를 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 압출 특성

Fig. 3은 소재의 온도변화에 따른 압출 압력을 보여주고 있다.

마그네슘은 HCP 구조로써 제한된 슬립시스템을 가지고 있어 온도가 증가함에 따라 새로운 슬립시스템이 발생한다. 이에 따라 저온에서는 더 높은 압출압력이 필요하게 되며, 이는 Fig. 3에서 실험적으로 알 수 있었다. 압출 온도가 300°C와 250°C에서는 압출 압력의 차이가 거의 없었으나 250°C와 200°C 사이는 약 100MPa 이상의 차이를 나타냈다.

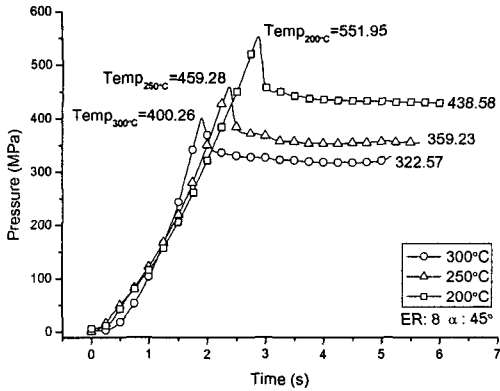


Fig. 3 Extrusion Pressure with various temperature

3.2 인장 강도

정수압 압출된 시편과 각각의 온도로 어닐링한 시편의 인장특성을 Fig. 4 와 Fig. 5 에 나타내었다. 인장실험은 상온에 수행하였다. 정수압 압출 공정으로 인해 원소재의 미세구조가 미세해 짐에 따라 인장강도가 원소재보다 약 100 MP 정도 상승하였다.

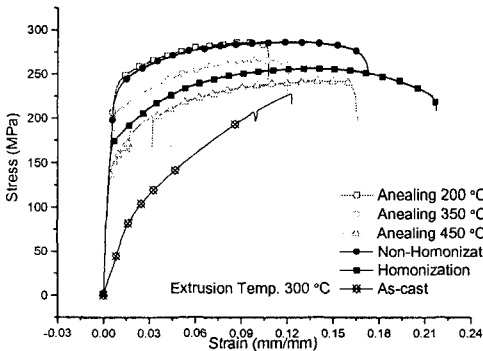


Fig. 4 Tensile Test for as-extruded at different annealing temperature; Extrusion Temperature is 300 °C

대체적으로 어닐링 후의 인장강도는 압출 소재보다 저하가 되고, 연신율 또한 감소하는 것으로 나타났다. 하지만 450°C로 어닐링을 한 시편은 균질 처리한 시편과 비교하여 보았을 때 강도면에서는 같은 강도를 나타내었다. 연신율 측면에서 보면

균질화 처리를 한 시편이 연신이 더 좋은 것으로 나타났다. 이는 결정립계에 존재하는 금속간 화합물들이 균질화 처리를 통해 고용된 것으로 사료된다.

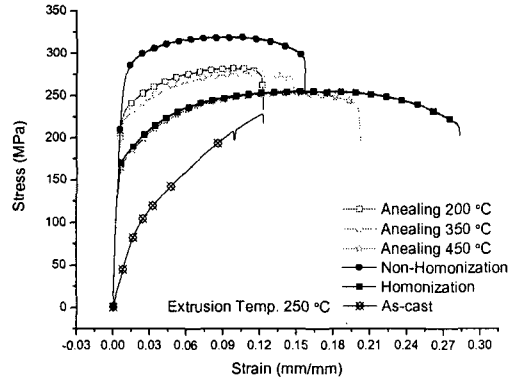


Fig. 5 Tensile Test for as-extruded at different annealing temperature; Extrusion Temperature is 250 °C

3.3 미세구조

압출 전의 결정립의 크기는 약 90-100 μm 정도였고 압출후의 결정립의 크기는 수마이크로 정도까지 내려갔다. 특히 압출비 8의 경우 결정립의 사이즈가 약 10 μm 로 관찰되었다.

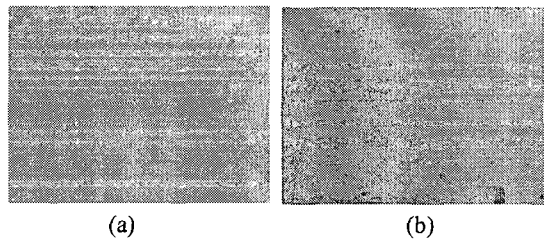


Fig. 6 Microstructure of as-extruded; (a) Extrusion temperature 250 °C (b) Extrusion temperature 300 °C

압출 온도가 250°C 에서는 성장하지 못한 결정립들이 많이 모여 있는 것이 관찰되어지고 있으나 300°C에서는 온도의 영향과 압출시 소성가공열에 의한 결정립의 성장이 관찰된다.

Fig. 7 은 어닐링 온도 변화에 따른 결정립의 크기 변화를 나타내고 있다. 결정립의 크기는 어닐링 온도가 상승함에 따라 증가하는 것을 알 수 있다.

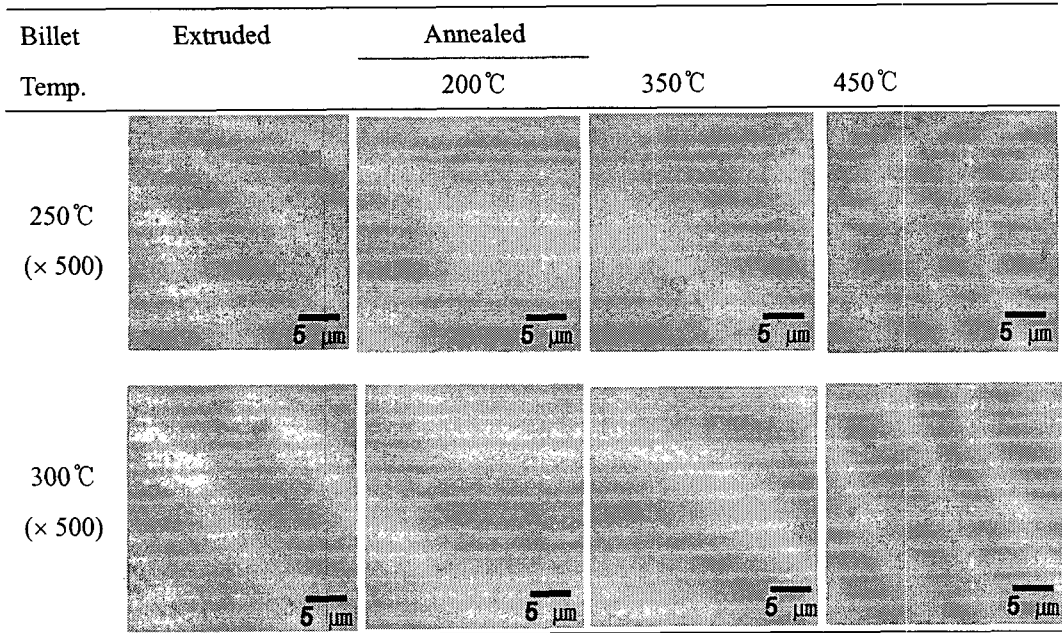


Fig. 7 Microstructures of various annealing temperatures

특히 어닐링 온도 450 °C에서는 균질처리를 하였을 때와 결정립 크기 측면에서 볼 때 별다른 차이가 없다. 다만 균질화 처리를 하였을 때 연성이 더 좋아진 것을 알 수 있다. 그러나 압출 온도 변화와 어닐링 조건 변화는 둘 사이에 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

4. 결론

이번 실험에서는 정수압 압출 공정을 이용하여 마그네슘 합금(AZ31) 압출소재의 어닐링 온도변화에 따른 기계적 특성 및 미세구조를 관찰하였다. 정수압 압출을 이용하여 압출 온도를 200 °C까지 낮추었다. 압출 온도가 감소함에 동적 재결정에 의한 기계적 특성이 향상되었다. 압출재에 대해 어닐링 온도를 다르게 하여 어닐링을 하였을 때 가장 좋은 연성을 나타낸 온도는 450 °C이었다. 이는 400 °C에서 10 시간 동안 균질화 처리를 한 것과 연신율의 차이만 있을 뿐 인장강도는 변화가 없는 것으로 판명된다.

참고 문헌

[1] 박훈재, 윤덕재, 나경환, 조남선, “정수압 압출기 개발”, 한국소성가공학회 춘계학술대회 논문집, pp.44-49, 1993.

[2] 한운용, 박훈재, 윤덕재, 정하국, 김승수, 김웅주, 이경엽, “Copper-clad Aluminum 복합재료의 정수압 압출시 다이 각이 미치는 효과”, 한국정밀공학회 춘계학술대회 논문집, 2003.

[3] R. Ye. Lapovok, M.R. Barnett, C.H.J. Davies, “Construction of extrusion limit diagram for AZ31 magnesium alloy by FE simulation,” Journal of Materials Processing Technology 146, pp.408-414, 2004.

[4] Margam Chandrasekaran, Yong Ming Shyan John, “Effect of materials and temperature on the forward extrusion of magnesium alloys”, Materials Science and Engineering A 381, pp.308-319, 2004.

[5] N. Inoue, M. Nishihara, “Hydrostatic Extrusion Theory and Applications,” Elsevier Applied Science Publishers London and Newyork, 1985.

[6] Kurt Laue, Helmut Stenger, “Extrusion: processes, machinery, tooling.”, AMERICAN SOCIETY FOR METALS, 1981.

[7] Tsutomu Murai, Shin-ichi Matsuoka, Susumu Miyamoto, Yoshinari Oki, “Effects of extrusion conditions on microstructure and mechanical properties of AZ31B magnesium alloy extrusions”, Journal of Materials Processing Technology 141(2003) pp. 207-212, 2003.