

마그네슘합금 AZ31 압출재의 기계적특성에 미치는 Ca의 효과

김정한¹ · 강나은 · 이상복 · 임창동 · 유봉선 · 김병기

Effect of Ca addition on the microstructure and mechanical properties of extruded AZ31 alloy

Jeoung Han Kim*, Na Eun Kang, Sang Bok Lee, Chang Dong Yim, Bong Sun You, Byoung-Kee Kim

Abstract

The effect of Ca addition on the microstructure evolution and deformation behavior of AZ31 magnesium alloy produced by hot extrusion was investigated. For this purpose, Ca was added into AZ31 melts to the level of 0.7 and 2.0 wt.% Ca. Then, AZ31 base alloy and Ca modified AZ31 alloys were extruded at 383°C. Ca added alloys showed finer grain size and increased hardness value rather than AZ31 base alloy. After isothermal hot compression, the shape of tested specimen exhibited a noticeable anisotropy due to the crystallographic texture effect. The ratio of major and minor axes of ovality was not directly related to test condition and Ca amount. Flow stress level increases with the increase of Ca addition at temperature below 300°C because of fine microstructure. However, at high temperature and low strain rate region (400°C and $10^{-3}s^{-1}$), reverse tendency was observed since main deformation mechanism changes from dislocation slip to grain boundary sliding or diffusional process at high temperature.

Key Words : Magnesium, AZ31, Extrusion, Deformation, Texture

1. 서론

마그네슘합금은 높은 비강도와 진동감쇠능의 특성 때문에 자동차, 전자제품, 항공기산업 등에 활발히 적용되고 있다 [1]. 그러나 HCP 결정구조 특유의 난성형성 문제로인해 소성가공재로서의 활용은 상대적으로 좁은 범위를 가지고 있다. 이를 해결하기 위해서는 결정립미세화를 통한 성형성의 향상이 요구된다. 최근 마그네슘합금에 Ca를 첨가시 산화방지와 더불어 결정립계 미세화효과가 나타남이 보고되었다 [2]. 소량의 Ca 첨가시 응고도중 편석이 발생되 조성적 과냉이 나타나게 되는데 이것이 결정립미세화를 주도하는 것으로 알려지고 있다. 또한, Mg₂Si의 수지상조직을 등방성 형태의 작은 입자로 고르게

분산시키는 효과를 나타내기도 한다. 그러나 Ca 첨가시 생성되는 Al₂Ca 석출상은 오히려 기계적특성에 나쁜 영향을 미치는 것으로 보고되고 있어 [3] 적절한 Ca의 함량과 이에 따른 기계적특성 변화에 대한 보다 깊이 있는 연구가 요구되고 있다.

한편, 마그네슘의 연신율은 합금원소 첨가뿐만 아니라 압출공정 같은 강소성가공에 의해서도 크게 향상됨이 보고되고 있다[4]. 그러나 HCP 결정구조 합금에서의 압출공정은 강한 집합조직의 형성을 유발하기 때문에 이들이 기계적성질에 미치는 영향을 조사하는 것이 매우 중요하다. 본 연구에서는 대표적인 마그네슘가공재인 AZ31 합금의 기계적 성질 및 미세조직 변화에 미치는 Ca의 효과를 알아보기로 하였다.

1. 한국기계연구원 재료기술연구소소재성형센터
E-mail: kjh1754@kims.re.kr
TEL: 055)280-3372

2. 실험 방법

Ca 함량을 달리한 AZ31 빌렛을 제조하기 위해 AZ31 모합금을 증력주조 하였고 660°C 에서 0.7wt.%(AZ31+0.7Ca), 2.0wt.%(AZ31+2.0Ca)의 Ca 를 첨가하였다. Ca 첨가 후 아르곤 가스로 30 분 동안 교반 하였고 10 분 동안 유지하였다. 출탕 후 400 °C 에서 72 시간 균질화 처리를 수행하였고 이어 383°C 에서 32:1 의 압출비로 압출하였다. 압출소재는 300°C 에서 시간 별로 어닐링 처리하여 미세조직 및 Vickers 경도의 변화를 관찰하였다.

소재의 고온압축 특성평가를 위해 열간 가공 재현 시험기를 사용하여 고온압축 실험을 수행하였다. 시편은 직경 8mm, 높이 12mm 의 원통형 시편을 사용하였고 그림 1 과 같이 마그네슘 압출재의 압출방향에 수직으로 가공하였다. 시험 온도는 100°C, 200°C, 300°C, 400°C 이었으며 변형속도는 10, 1, 10^{-1} , 10^{-2} , $10^{-3}s^{-1}$ 이었다. 변형 후 시편들은 급속 냉각되었으며 압축 축에 평행으로 절단하여 미세조직을 관찰하였다.

압출 후 집합조직의 변화를 알아보기 위하여 압출방향에 수직으로 XRD 분석을 수행하였다. 시험장비는 D/Max-3C(Rigaku)이었으며 6 가지 서로 다른 슬립면을 관찰 후 TEXTTOOL 소프트웨어로 분석하였다.



Fig. 1 Compression test specimen machined perpendicularly to the extrusion direction.

3. 결과 및 고찰

3.1 미세조직 변화

그림 2 는 압출 후 Ca 함량에 따른 3 가지 합금의 미세조직을 보여주고 있다. Ca 가 첨가된 경우 뚜렷한 결정립미세화 효과가 드러나고 있으나 AZ31+0.7Ca 와 AZ31+2.0Ca 의 결정립도

차이는 크지 않았다. 이는 Ca 의 고용한도가 1.34 이기 때문에 [5] 핵생성장소 및 과냉각 효과가 0.7wt.% 이상에서는 큰 차이가 나지 않기 때문으로 판단된다.

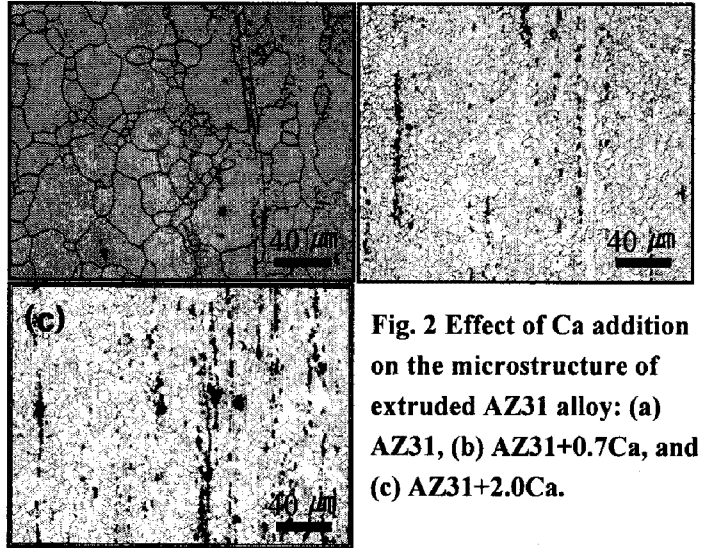


Fig. 2 Effect of Ca addition on the microstructure of extruded AZ31 alloy: (a) AZ31, (b) AZ31+0.7Ca, and (c) AZ31+2.0Ca.

그림 3 은 3 종류의 합금을 300°C 에서 어닐링 처리한 후의 경도 값 변화를 보여주고 있다. 결정립크기의 변화와 같이 Ca 가 첨가되었을 경우 더 높은 경도값을 보이고 있으나 함량의 차이에 따른 영향은 거의 나타나지 않았다.

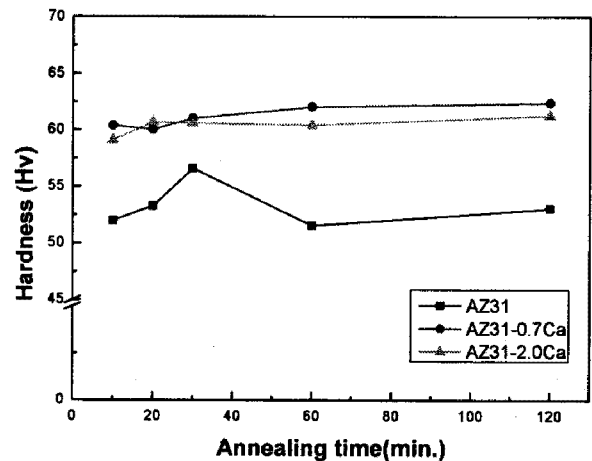


Fig. 3 Change in Vickers hardness as a function of annealing time.

3.2 고온 압축시험

그림 4 는 변형속도 $10s^{-1}$ 의 속도에서 얻어진 유동응력 곡선을 보여주고 있다. 전반적으로 Ca 함량이 높을수록 높은 강도를 보임을 알 수 있으나 온도가 높아질수록 그 영향을 줄어 들었다. 이는 낮은 온도에서의 주변형기구는 전위의 활주에 의한 결정립내변형인 반면 온도가 높아질수록 확산과 결정립계미끄러짐 등의 변형기구가 발현되기 때문으로 보인다. 즉, 낮은 온도에서는 결정립크기가 작은 Ca 함유 조직에서 전위움직임이 제약이 돼 높은 유동응력을 가지게 되지만 높은 온도에서는 미세한 결정립크기를 가질수록 확산등에 의한 변형이 쉽기 때문이다.

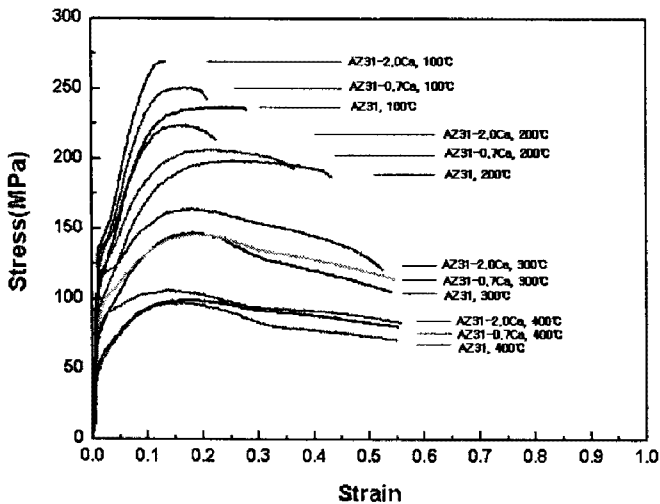


Fig. 4 Stress-strain curve obtained at various temperatures using true strain rate of $10s^{-1}$.

그림 5 는 변형속도 $10s^{-3}$ 의 속도에서 얻어진 압축시험결과로서 $400^{\circ}C$ 의 높은 온도에서는 오히려 2.0Ca 함유조직의 유동응력이 제일 낮음을 알 수 있었다. 이는 전술한 바와 같이 $400^{\circ}C$, $10s^{-3}$ 에서의 주 변형기구가 확산 또는 결정립계 미끄러짐으로 천이됨에 따라 결정립도가 미세한 2.0Ca 조직의 변형이 유리하기 때문이다.

한편, 2.0Ca 조직의 경우는 $100^{\circ}C$ 의 비교적 낮은 온도에서 탄성영역을 지나고 바로 변곡점이 발생하는 항복점 현상이 나타나고 있다 (그림 4,5). $300^{\circ}C$ 이상의 온도에서는 나타나지 않으며 또한, Ca 함량이 낮은 AZ31+0.7 에서는 나타나지 않음을 확인할 수 있었다. 따라서 이는 활동전위 주변에 고착된 Ca 용질원자의 영향으로 판단된다.

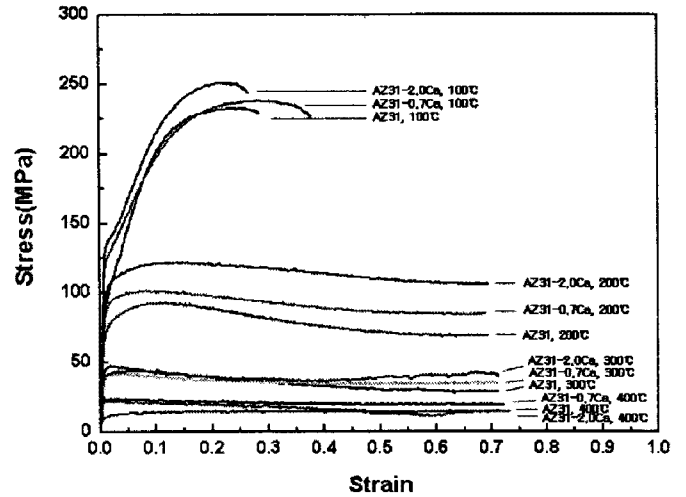


Fig. 5 Stress-strain curve obtained at various temperatures using true strain rate of $10s^{-3}$.

3.3 압축 시험시편의 거시적 변형 관찰

그림 6 은 $200^{\circ}C$, $10s^{-2}$ 에서 압축시험 후 시편의 측면을 관찰한 사진이다. AZ31 모합금과 AZ31+0.7Ca 의 경우 압축 후 표면균열 없이 건전한 형태를 보이는 반면 AZ31+2.0Ca 은 표면균열이 발생했음을 확인할 수 있었다. 이는 AZ 31 합금의 연신율을 향상시키기 위한 임계 Ca 첨가량이 존재하며 그 이상이 함유될 경우 오히려 연성에 악영향을 미침을 보여준다.

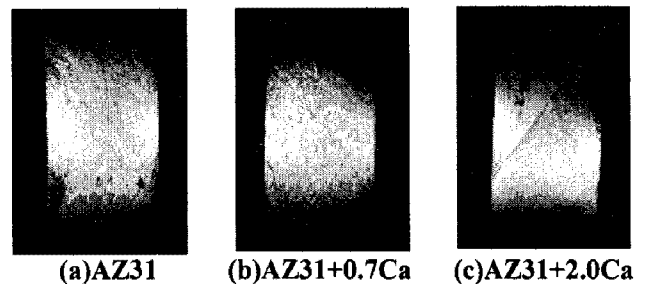


Fig. 6 Macrograph of specimen deformed at $200^{\circ}C$ with a true strain rate of $10s^{-2}$.

그림 7 에서 보이는 Al_2Ca 석출물의 과도한 생성으로 취성이 발생되기 때문으로 판단된다. 한편, 압축 후 시편의 정면을 관찰 한 경우 3 가지 합금 모두에서 가로, 세로 종횡비가 1.3 이상인 소성 이방성이 관찰되고 있다. 이러한 현상은 일반적으로 일방향 응고나 강한 집합조직이 생성되었을 경우 발생하는데[6,7] 본 압출재의 경우는 후자에 의한 것이 주 원인이다.

집합조직의 발달형태를 관찰하기 위해 극점도를 조사하였으며 이를 통해 저면(Basal plane)이 압출방향과 평행한 방향으로 강하게 발달한 것을 확인할 수 있었다. 압축방향과 저면의 방향이 수직하게 배열된 경우 슬립방향이 압출방향과는 90°각도를 가지게 되어 변형에 제한을 가지게 된다. 따라서, 압출방향에 수직한 방향으로 변형이 용이하고 평행한 쪽으로 저항이 심해져 이방성이 발생한 것으로 보인다.

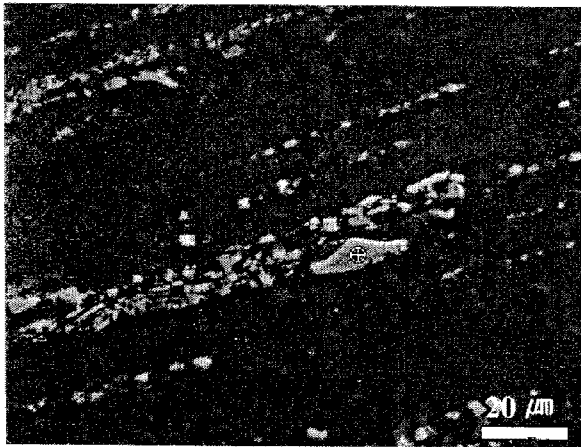


Fig. 7 SEM graph of specimen deformed at 200°C with a true strain rate of 10s⁻². Yellow circle indicate Al₂Ca precipitate.

4. 결론

- 1) Ca 가 첨가된 경우 결정립미세화 효과와 더불어 경도의 향상이 있었으나 AZ31+0.7Ca 와 AZ31+2.0Ca 의 차이는 크지 않았다.
- 2) Ca 함량이 높을수록 높은 유동응력을 나타내었으나 성형성은 오히려 감소되었다.
- 3) 압축 후 시편의 거시적 관찰결과 종횡비 1.3 이상의 소성이방성이 관찰되었으며 이는 압출방향으로 강하게 발달된 저면 집합조직이 원인이었다.

후 기

본 연구는 산업자원부 금속소재정보은행 사업의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] M.M. Avedesian and H.Baker, 1999, ASM Specialty Handbook Magnesium and Magnesium alloys, ASM International, Materials Park, OH, 7-11.
- [2] Q.D. Wang, W.Z. Chen, X.Q. Zeng, Y.Z. Lu, W.J. Ding and Y.P.Xu, 2001, Effect of Ca addition on the microstructure and mechanical properties of AZ91 magnesium alloy 36, J. Mater. Sci., pp. 3035-3040.
- [3] 김청림, 엄정필, 임수근, 박원욱, 유봉선, 2003, AZ31 마그네슘합금의 결정립미세화 및 기계적특성에 미치는 Ca 첨가의 영향, 한국주조공학회지, 제 23 권, 제 5 호, pp. 251-256.
- [4] T. Mukai, M. Yamanoi, H. Watanabe, K. Higashi, 2001, Ductility enhancement in AZ31 magnesium alloy by controlling its grain structure, Scripta 45, pp. 89-94.
- [5] Massalski, Binary alloy phase diagrams, second ed., volume 1, pp.925
- [6] S.L. Semiatin, D.S. Weaver, P.N. Fagin, M.G. Glavicic, R.L. Goetz, N.D. Frey, R.C. Kramb, M.M. Antony, 2004, Deformation and recrystallization behavior during hot working of a coarse-grain, Nickel superalloy ingot material, Metall. Mater. Trans.A., 35, pp. 679-693
- [7] S.L. Semiatin, T.R. Bieler, 2001, Effect of texture and slip mode on the anisotropy of plastic flow and flow softening during hot working of Ti-6Al-4V, Metall. Mater. Trans.A., 32pp. 1787-1799.