가스분사법으로 제조된 Mg-6 wt.% Al-1 wt.% Zn 합금의 시효특성

이두형 · 김보식 · 장시영*
한국항공대학교 항공재료공학과

The Aging Characteristics of Mg-6 wt.% Al-1 wt.% Zn Alloy Prepared by Gas Atomization

Du Hyung Lee, Bo Sik Kim and Si Young Chang*

Department of Materials Engineering, Korea Aerospace University, Gyeonggi-do 412-791, Korea
(Received June 12, 2009; Revised July 3, 2009; Accepted July 10, 2009)

Abstract The aging characteristics of gas atomized Mg-6 wt.% Al-1 wt.% Zn alloy were investigated and compared to those of cast Mg-6 wt.% Al alloy. The gas atomized Mg-6 wt.% Al-1wt.% Zn alloy powders had spherical morphology between 1 and 100 μm in diameter. After compaction under the pressure of 700 MPa at 320°C for 10 min, the Mg-6 wt.% Al-1 wt.% Zn alloy showed a grain size of approximately 40 μm which is smaller than that of the cast Mg-6 wt.% Al alloy, and a relative compact density of approximately 93%. After ageing, the Mg-6 wt.% Al-1 wt.% Zn alloy showed much faster peak hardness than cast Mg-6 wt.% Al alloy. The Mg-6 wt.% Al-1 wt.% Zn alloy showed the new fine precipitations with ageing time, while the cast Mg-6 wt.% Al alloy was almost similar morphology.

Keywords : Aging behavior, Precipitation, Hardness, Gas atomization, Hot compaction

1. 서 론

최근 정부는 ‘저탄소 녹색성장’이라는 문구를 필두로 환경 및 에너지 문제 해결을 위해 경량합금 연구에 많은 관심을 가지고 있다[1-2]. 그 중에서도 주목할만한 경량금속 중 하나인 마그네슘은 밀도가 1.74 g/cm³으로 Al의 2/3, Ti의 1/3로서 현재 사용되고 있는 구조용 금속 중에서 가장 가볍고, 우수한 비강도 및 비탄성계수 그리고 진동, 충격에 대한 저항성과 전자파 차폐성이 탁월하다. 그러나 HCP의 구조인 마그네슘합금은 상온에서 가공성이 좋지 않기 때문에 일반적으로 높은 온도에서 가공하게 된다. 이러한 마그네슘의 냉간가공의 어려움 때문에 공업적으로 이용되는 마그네슘 합금은 대부분 주조, 특히 다이캐스팅 공정에 적용된다[3-5]. 하지만 다이캐스팅 공정에 있어서 수축공과 같은 주조결함이나 지구온난화 물질인 SF₆의 사용이 환

경적 측면에서 문제가 되고 있다. 이러한 문제점을 해결할 대안 중 하나인 분말야금법 중의 가스분사법은 기존의 주조제품에 비해 우수한 기계적 특성을 얻을 수 있으며 near net shape의 성형이 가능한 장점이 있다[6-7]. 한편 마그네슘합금의 기계적 특성을 향상시키기 위한 방법으로서 마그네슘 주조합금의 시효거동에 대한 연구는 많이 진행되었지만, 마그네슘 분말합금에 적용한 예는 현재까지 미비한 실정이다. 특히 분말합금의 후공정인 성형 및 소결공정에서 가압 등의 조건은 시효 석출거동에 충분히 영향을 미칠 수 있다. 이에 본 연구에서는 가스분사법으로 제조된 Mg-6Al-1Zn(이하 모든 합금조성은 wt%로 표시) 합금 분말을 고온가압 성형한 후 시효처리하여 시간에 따른 미세조직 및 경도의 변화를 Mg-6Al 주조합금과 비교 및 분석하여 분말야금의 후공정이 시효거동에 미치는 영향에 대하여 알아보았다.

*Corresponding Author : [Tel : +82-2-300-0168; E-mail : sychang@kau.ac.kr]

2. 실험방법

Mg-6Al-1Zn 합금 분말은 가스 분사법에 의해 제조되었으며, 최근 보고된 공정조건 하에서 시행되었다[8]. 가스 분사법으로 제조한 합금 분말을 제작된 몰드에 장입 후 320°C에서 10분간 700 MPa 압력으로 성형하여 지름 11.4 mm의 원통형 성형체를 얻었으며 상대 압축밀도는 약 93%로 나타났다. Mg-6Al 주조 합금은 670°C로 가열 유지한 순 Mg용탕에 Al을 첨가한 후, 150°C로 가열된 금형에 용탕을 부어 제조되었다. 준비된 주조시편은 420°C에서 16시간 동안 용체화 처리하였다. 두 시편 모두 250°C에서 시효처리하여 시간에 따른 시효경도를 측정하였다. 미세조직은 나이트롤용액으로 에칭 후 OM 및 SEM으로 관찰하였으며, 미세경도는 200 g의 하중으로 비커스 경도계를 이용하여 측정하였다. 또한 시효처리 중의 석출물을 확인하기 위하여 TEM으로 관찰하여 그 분포 및 크기를 확인하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1(a)는 가스 분사법으로 제조된 Mg-6Al-1Zn 합금 분말을 주사전자현미경으로 관찰한 결과이다. 사진에서 분말의 표면은 매끄럽고 거의 구형에 가까운 형상을 나타내었으며, shape factor 분석결과 0.96(1에 가까울수록 구형상)을 나타내었다. 그림 1(b)는 분말 크기의 분포를 나타낸 것인데, 그 크기가 1~100 μm 의 크기 분포를 보였으며, 평균 입도는 약 37 μm 인 것으로 확인되었다. 일반적으로 초기 입자크기의 변화는 가스 분사법에 의해 제조될 때의 압력 및 응고 시 냉각속도에 따라 각각 다른 크기를 보이는 것으로 알려져 있다[9].

그림 2는 가스 분사법으로 제조 후 성형한 Mg-6Al-1Zn 분말합금과 Mg-6Al 주조합금의 광학현미경 사진이다. 700 MPa의 압력으로 10분간 320°C에서 고온성형한 Mg-6Al-1Zn 합금의 결정립 크기는 약 40 μm 정도로 측정되었다. 반면에 주조 Mg-6Al 합

Fig. 1. SEM morphology of the Mg-6Al-1Zn alloy powder prepared by gas-atomization (a) and powder particles distribution (b).

Fig. 2. OM microstructures of (a) the Mg-6Al-1Zn powder compact and (b) cast Mg-6Al alloys.

Fig. 3. Ageing curves for the Mg-6Al-1Zn powder compact & the cast Mg-6Al alloys at 250°C.

금은 평균 70 μm 의 결정립 크기를 가지고 있으며, T6 처리에 의해 주조재에서 보이는 $\beta\text{-(Mg}_{17}\text{Al}_{12})$ 공정화합물이 대부분 고용된 균질화된 미세조직을 나타내었다[10]. 분말합금에서는 입자들 사이에 약간의 기공이 관찰 되었으나 대체적으로 입자들이 잘 결합되어 있고, 밀도 측정결과 약 93%의 상대 성형밀도를 나타내었다.

그림 3은 시효처리시간에 따른 경도의 변화를 도식화한 것이다. 시효처리하기 전 경도는 주조합금 보다 분말합금이 더 높은 경도를 보였다. 일반적으로 주조 Mg-6Al-1Zn 합금의 경도는 약 60~70 Hv로서 본 실험에서 비교재로 사용한 주조 Mg-6Al의 경도

Fig. 4. SEM micrographs of the Mg-6Al-1Zn powder compact & cast Mg-6Al alloys after ageing at 250 for 1h, 2h, 8h and 64h.

와 거의 같거나 오히려 낮아 as compacted Mg-6Al-1Zn 분말합금의 경도에 미치는 Zn의 영향은 미미하다고 판단된다[11-12]. 따라서 그림 2에서 보여준 것과 같이 분말로 성형한 분말합금이 주조합금보다 결정립의 크기가 미세하고, 또한 주조합금은 용체화처리를 하였기에 초기 전위밀도는 분말합금이 분명히 높다고 생각된다. 그 결과 분말합금 성형체의 초기경도가 주조합금보다 높다고 생각된다. 또한 분말합금은 1→2시간 구간에서 가장 급격히 경도가 증가하였으며 8시간동안 시효처리 하였을 때 최대경도를 보였지만 주조합금은 일정하게 경도가 증가하였으며 16시간동안 시효처리 하였을 때 최대경도를 보였고 두 시편 모두 최대경도를 보인 후에 과시효되어 경도가 감소하여 64시간이후로는 경도의 감소가 평형상태에 도달했다는 것을 확인할 수 있다.

그림 4는 시효곡선(그림 3)에서 나타냈던 Mg-6Al-1Zn 분말합금과 Mg-6Al 주조합금의 시효처리 시간(1시간, 2시간, 8시간, 64시간)에 따른 조직사진이다. 분말합금과 주조합금 모두 1시간 시효처리 하였을 때는 미세한 석출물이 약간 관찰되었다. 분말합금의 경우에는 시효시간이 증가함에 따라 석출물이 약간 증가하였으며, 최대경도를 보이는 8시간 시효 후에는 α -Mg에 잘 분포 되어 있는 석출물을 관찰 할 수 있다. 반면에 주조합금은 1시간과 2시간동안 시효처리 후에 석출물의 분포나 양 또한 차이는 없었다. 두 합금 모두 64시간의 시효처리 후에는 입내 및 입계에 서 성장한 석출물이 관찰되었다.

그림 5는 시효처리하기 전과 2시간 시효처리 한 TEM 사진을 관찰한 것이다. Mg-6Al-1Zn 분말합금의 시효처리 전 TEM 사진에서는 100~200 nm 크

Fig. 5. TEM images of the Mg-6Al-1Zn powder compact & cast Mg-6Al alloys (a) before ageing and (b) after ageing for 2h at 250°C.

기의 석출물이 관찰되었지만, 2시간 시효처리 했을 때는 시효처리 전에 관찰되지 않았던 20~30 nm 정도의 미세한 석출물들이 새롭게 관찰되었다. Mg-6Al 주조합금에서도 분말합금과 마찬가지로 2시간 시효처리 하였을 때 미세한 석출물이 발견되었으나, 그것은 이미 시효처리되기 전에 존재했던 것으로 시효처리에 의한 생성된 미세한 석출물은 거의 관찰되지 않았다. 이상의 결과로부터 고온성형된 Mg-6Al-1Zn 분말합금이 주조합금에 비해 높은 정도와 빠른 최대경도를 보인 것은 성형 공정시 가압에 의해 도입되는 내부응력에 의해 석출물의 핵생성이 촉진되기 때문이라고 생각된다. 또한, 결론적으로 가스 분사법으로 제조한 마그네슘 합금 분말의 적절한 성형공정은 마그네슘 분말합금의 기계적 특성의 향상에 유효하다고 생각된다.

4. 결 론

가스분사법으로 제조된 Mg-6Al-1Zn 합금 분말은 거의 구형에 가까운 형상을 나타내었으며, 1~100 μm 의 크기 분포를 보였다. 320°C에서 700 MPa의 압력으로 10분간 성형한 후의 분말합금의 입도는 약 40 μm 로 주조 합금보다 미세하였으며, 약 93%의 상대 성형 밀도를 보였다. 시효 전 경도는 주조 Mg-6Al 합금보다 분말 Mg-6Al-1Zn 합금이 더 높았고, 특히 분말 Mg-6Al-1Zn 합금은 8시간의 짧은 시간의 시효후에 최대경도를 보였다. TEM 관찰 결과, 단시간의 시효처리 후 주조합금에서는 새로운 미세 석출물이 관찰되지 않았으나, 분말 Mg-6Al-1Zn 합금에서 많은 미세한 석출물이 관찰 되었다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 한국항공대학교 교비지원 연구비에 의하여 지원된 연구의 결과이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Y. Kojima and S. Kamado: Mater. Sci. Forum, **488** (2005) 9.
- [2] T. M. Yue, Q. W. Hu, Z. Wei and H. C. Man: Mater. Letters, **47** (2001) 165.
- [3] J. A. Curran and T. W. Clyne: Surf. Coating Tech., **199** (2005) 177.
- [4] S. Y. Chang, Y. L. Kim, B. H. Song and J. H. Lee: Mater. Sci. Forum, **539-543** (2007) 1224.
- [5] S. Y. Chang, Y. L. Kim and Y. D. Kim: Korean J. of Mater. Research, **17** (2007) 648.
- [6] M. Sugamata, S. Hanawa and J. Kaneko: Mater. Sci. Eng. A, **226-228** (1997) 861.
- [7] S. Y. Chang, H. G. Cho, D. H. Lee and T. S. Kim: J. Korean powder Metall. Inst., **14** (2007) 372 (Korean).
- [8] Y. Kawamura, K. Hayashi, A. Inoue and T. Matsumoto: Mater. Trans., **42** (2001) 1172.
- [9] A. Aliseda, E. J. Hopfinger, J. C. Lasheras, D. M. Kremer, A. Berchielli and E. K. Connolly: Int. J. Multiphas. Flow, **34** (2008) 161.
- [10] Y. Kojima: Handbook Advanced Magnesium Technology, Kallos Publishing, Tokyo (2000) 144.
- [11] Y. Uematsu, K. Tokaji and M. Matsumoto: J. of Sci. Eng. A, **517** (2009) 138.
- [12] R. Arrabal, E. Matykina, T. Hashimoto, P. Skeldon and G. E. Thompson: Surf. Coating Tech., **203** (2009) 2207.