

열간 압연 한 Mg합금의 미세조직과 감쇠능에 미치는 열처리의 영향 Effect of Heat Treatment on the Microstructure and Damping Capacity of Hot Rolled Magnesium Alloys

이규현* · 김권후** · 강창룡***†

Gyu-Hyun Lee*, Kwon-Hoo Kim** and Chang-Yong Kang***†

(접수일 : 2013년 10월 23일, 수정일 : 2014년 06월 16일, 채택확정 : 2014년 06월 16일)

Abstract: In this study, effect of heat treatment on the microstructure and damping capacity of hot rolled magnesium alloys was investigated. The microstructure of hot rolled magnesium consisted of dendrite structure and Mg₁₇Al₁₂ compounds precipitated along the grain boundary. The dendrite structure was dissipated and Mg₁₇Al₁₂ compounds was decomposed by annealing treatment, and then they dissolved in α-Mg. With an increasing the annealing temperature and time, damping capacity was slowly increased by the growth of grain size and decreasing of defects induced by hot rolling. Two kinds of magnesium alloys AZ 31 and AZ 61 after annealing showed no difference in damping capacity.

Key Words : Magnesium Alloy, Hot Rolled, Annealing, Damping Capacity, Specific Strength

1. 서 론

마그네슘합금은 구조재료 사용되고 있는 금속 중 가장 높은 비 강도를 나타낼 뿐만 아니라 우수한 진동 감쇠능과 전자파 차폐성 등의 고유특성을 지니고 있다. 따라서 환경 하이브리드/연료전지 자동차 등의 수송기기와 디지털 카메라, 노트북, 핸드폰 등과 같은 휴대용 전자. 정보 통신기기를 중심으로 사용량이 점차 증가하고 있는 합금이다^{1,2)}. 그러나 Mg 합금은 HCP 결정구조이기 때문에 실온에서는 제한적인 슬립계로 인해 성형성이 대단히 나쁘다. 때문에 지금까지 Mg 합금에 관한 연구는 성형성과 강도개선 등을 위한 합금 조성, 제조공정 개발 등에 집중되어 왔고^{3,4)}, 감쇠

능에 대한 연구는 성형성의 개선보다는 중요성이 낮고, Mg 합금은 감쇠능이 높다는 일반적인 인식 등으로 인하여 상대적으로 많이 수행되지 않았다. 그러나 향후 Mg 합금의 최대 수요처가 차체 경량화와 주행 안정성 및 정음성 등이 요구되는 수송기기와 외부 충격으로부터 데이터 보호가 필수적인 전자, 정보 통신기기 산업분야라는 점을 고려할 때 높은 진동감쇠 또는 충격완화 특성을 갖는 Mg 합금의 개발은 수요량의 증가 측면에서 대단히 중요하고 필요하다. 뿐만 아니라 금속재료는 진동감쇠능이 높을수록 강도가 낮은 경향을 나타내고 있기 때문에⁵⁾, 진동 감쇠능의 저하를 최소화 하면서 강도 등을 높일 수 있는 합금설계 및 제조공정의 개발이 필요하고, 이는 Mg 합금에서도 예외가 될 수는 없다.

*** 강창룡(교신저자) : 부경대학교 금속공학과

E-mail : metkey@pknu.ac.kr Tel : 051-629-6346

*이규현, ***김권후 : 부경대학교 금속공학과

***† Chang-Yong Kang(corresponding author) : Department of Metallurgical Engineering, Pukyong National University.

E-mail : metkey@pknu.ac.kr Tel : 051-629-6346

*Gyu-Hyun Lee, **Kwon-Hoo Kim : Department of Metallurgical Engineering, Pukyong National University.

따라서 본 연구는 항 후 수송기기 산업과 전자, 정보 통신 산업분야 등에서 요구되고 있는 비 강도와 감쇠능이 우수한 Mg 합금을 개발하는데 관련된 자료를 얻기 위해 구조재로 많이 사용되고 있는 AZ 31 및 AZ 61 Mg 합금을 고온 가공한 다음 어닐링 처리하여 미세조직과 감쇠능을 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 시료

시료는 Mg에 합금원소로 Al과 Mn이 첨가되어 있는 AZ 31과 61 상용 Mg 합금 주조재 빌렛을 구입하여 사용하였다. 이 때 시료의 화학조성을 Table 1에 나타내었다.

Table.1 Chemical composition of magnesium alloys (wt. %)

Specimens	Al	Zn	Mn	Mg
AZ 31	3.12	0.75	0.28	Bal.
AZ 61	6.06	0.78	0.24	Bal.

2.2 열간압연

시료의 열간압연은 두 종류의 주조재를 가열중의 산화를 방지하기 위해 알루미늄 포일로 싸 후 400℃로 가열한 다음 압연하는 과정을 반복적으로 행하였고, 이때 압연온도는 대략 400℃로 일정하게 유지되게 하였으며, 압연율은 30%가 되도록 하여 압연 하였다.

2.3 열처리

열간압연 한 두 마그네슘합금의 열처리는 역시 열처리중의 산화를 방지하기 위하여 알루미늄 포일로 싸 다음 300℃와 500℃ 사이의 여러 온도에서 120분, 그리고 400℃에서 30분에서 최대 180분까지 시간을 달리하여 유지한 다음 유냉하였다.

2.4 미세조직 관찰

열간압연과 열간압연 후 열처리한 시료의 미세조직은 광학현미경과 투과전자현미경(Hitachi, 200 kV)으로 관찰하였다. 이 때, 투과전자현미경 관찰

은 시편을 얇은 두께로 절단 후 연마와 정마 과정을 거친 다음 jet 연마에 의해 박막으로 만들어서 관찰하였다. 한편 열처리 전 후의 시료에서 존재하는 화합물의 분석은 에너지 분산형 X-선 분석기(EDX, Energy Dispersive X-ray Spectrometer, VEGA 2)로 분석하였다.

2.5 감쇠능 측정

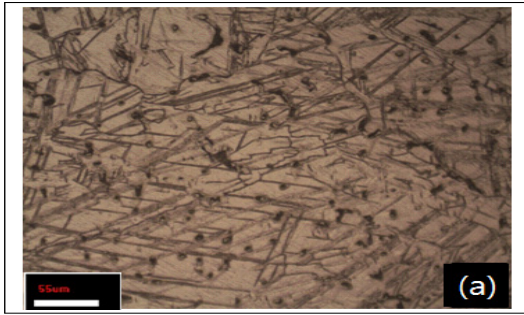
감쇠능은 열간압연 및 이를 열처리한 시료로부터 2×20×120 mm 크기로 방전가공에 의해 제작한 다음 횡 형 진동법을 이용하는 진동감쇠능 측정장치(진공이화학, IFT-1500)를 사용하여 측정하였다. 이 방법은 시험편에 진동을 가한 후 시간에 따른 진동의 진폭 변화를 potentiometer로 감지하고, 이를 증폭기와 A/D converter를 통하여 digital 신호로 변환시켜 컴퓨터에 입력한 후 noise는 filtering 하여 제거한 다음 분석된 결과를 계산용 프로그램에 입력하여 strain에 따른 대수감쇠율($\delta = 1/n \ln A_0/A_n$, 여기서 n: 파수, A₀: 최초 파의 진폭, A_n: n번째 파의 진폭)을 구하는 방법⁶⁾이다.

3. 실험결과 및 고찰

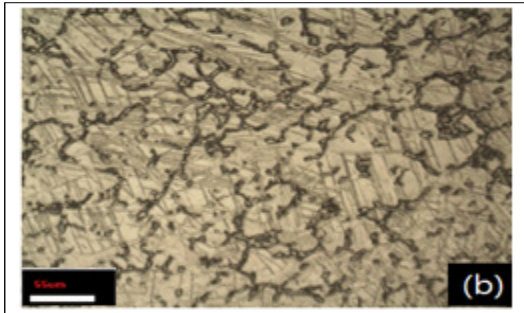
3.1 미세조직관찰

Fig. 1은 AZ 31 및 AZ 61 두 시료를 400℃에서 30% 열간압연한 후의 미세조직을 광학현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다. 두 시료가 동일하게 응고시 발달된 수지상정(dendrite)에 Mg₁₇Al₁₂ 화합물들이 입계를 따라서 존재하고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 AZ 61 시료가 AZ 31 시료에 비해 Mg₁₇Al₁₂ 화합물의 양이 많고, 수지상정의 크기가 약간 작은 것을 알 수 있다.

이와 같이 AZ 61 이 AZ 31 합금에 비하여 화합물의 양이 많고, 수지상정의 크기가 작은 이유는 AZ 31 합금은 Mg에 3%의 Al이 첨가되어 있고, AZ 61은 6% 정도의 Al이 첨가되어 있다. 따라서 AZ 61 합금이 첨가된 Al의 양이 많아 화합물이 많이 생성 될 뿐만 아니라, 조성적과냉이 크게 되어 핵 생성속도 등이 빨라지기 때문이라 판단된다.

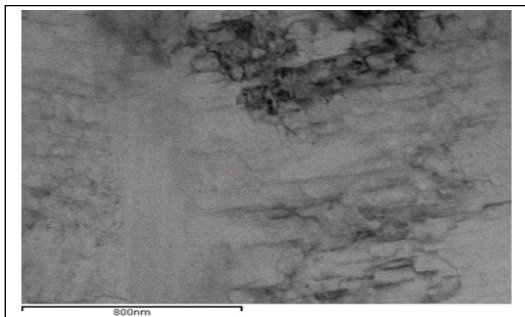


a) AZ 31

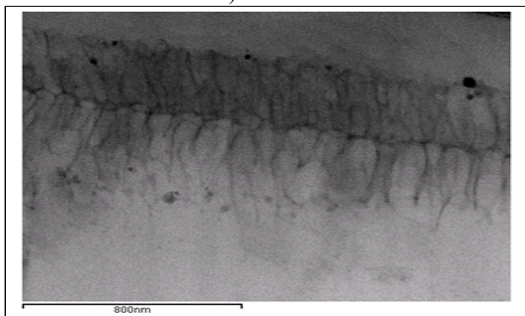


b) AZ 61

Fig.1 Optical micrographs of 30% hot rolled magnesium alloys



a) AZ 31



b) AZ 61

Fig. 2 TEM micrographs of 30% hot rolled magnesium alloys

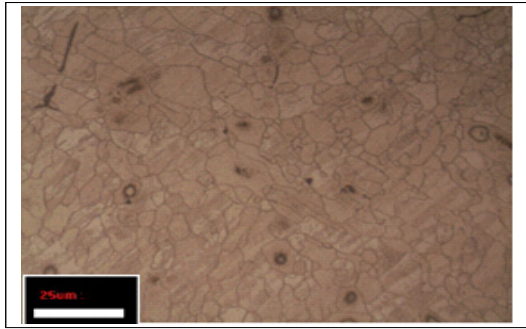
Fig. 2는 열간압연 한 두 시료의 미세조직을 투과전자현미경으로 조사하여 나타난 것이다. 두 시료가 동일하게 400℃의 온도에서 압연을 하였지만 가공에 의해 도입된 많은 전위들이 존재하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 이 결과로 부터 열간가공에 의해서도 많은 전위 등과 같은 결함들이 도입되어 존재하고 있는 것을 알 수 있다.

3.2 미세조직 변화에 미치는 열처리의 영향

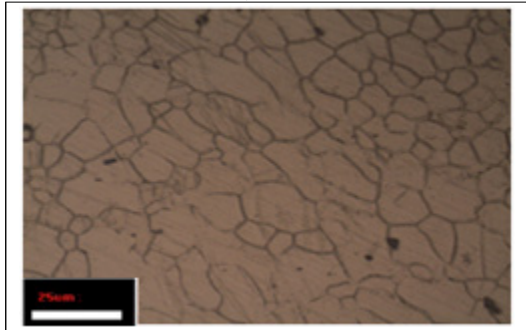
Fig. 3은 열간가공 한 두 Mg 합금의 미세조직에 미치는 어닐링처리의 영향을 알아보기 위하여 30% 열간압연 한 두 시료를 400℃에서 2시간 유지 후 유냉 한 다음 광학현미경과 투과전자현미경으로 관찰하여 나타난 것이다. 두 시료가 동일하게 광학현미경 사진에서는 응고시 발달된 수직상정들이 어닐링처리에 의해 전부 분해되어 보이지 않고 있으며, $Mg_{17}Al_{12}$ 화합물들도 대부분 용해되고 기지에 고용되는데 기인되어 α -Mg(고용체)에는 극히 미세한 $Mg_{17}Al_{12}$ 화합물들이 미량 존재하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 투과전자현미경 사진에서도 어닐링처리에 의해 가공에 의해 도입된 전위 등의 결함들도 대부분 소멸되어 없어지고, 극히 미세한 적은 양의 $Mg_{17}Al_{12}$ 화합물들만이 존재하고 있는 것을 알 수 있다.

Micro Spec.	Optical	TEM
AZ 31		
AZ 61		

Fig. 3 Optical and TEM micrographs of magnesium alloys annealing treated at 400℃ for 2hrs. after 30% hot rolling



a) 300°C



b) 450°C

Fig. 4 Optical micrographs showing the effect of annealing temperature in 30% hot rolled AZ 31 magnesium alloy.

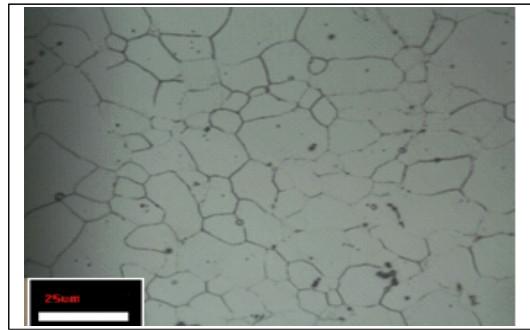
Fig. 4는 열간압연 한 시료의 미세조직에 미치는 어닐링처리 온도의 영향을 알아보기 위하여 30% 열간압연한 AZ 31 합금을 300°C와 450°C 온도에서 2시간 어닐링처리 한 다음 광학현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다. 어닐링처리 온도에 관계없이 동일하게 응고시 발달된 수지상정은 분해되어 소멸되고, $Mg_{17}Al_{12}$ 화합물들도 대부분 용해 고용되어 α -Mg 고용체에 미세한 탄화물들이 존재하고 있는 것을 알 수 있다. 그러나, 어닐링처리 온도가 높은 450°C의 경우가 α -Mg 결정립의 크기가 약간 큰 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 열간압연 한 시료의 미세조직에 미치는 어닐링처리 시간의 영향을 알아보기 위하여 30% 열간 압연한 AZ 61 Mg 합금을 400°C에서 30분 및 180분 어닐링처리 한 다음 광학현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다. 두 시료가 동일하게 어닐링 처리에 의해 응고시 발달된 수지상정이 분

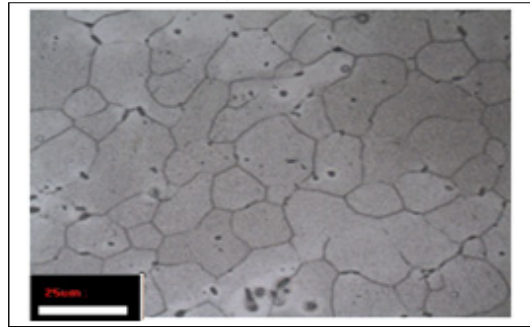
해되어 없어지고, 화합물들은 대부분 용해 고용되어 α -Mg 고용체에 소량의 미세한 화합물들이 존재하고 있고, 어닐링처리 시간이 180분으로 긴 시료의 경우가 α -Mg 결정립의 크기가 큰 것을 알 수 있다.

3.3 감쇠능에 미치는 열처리의 영향

Fig. 6은 열간압연 한 두 시료의 감쇠능에 미치는 열처리 온도의 영향을 조사하기 위하여 400°C에서 30% 열간압연 한 두 시료를 여러 온도에서 어닐링처리 한 다음 대수감쇠율을 조사하여 나타낸 것이다. 두 시료가 비슷하게 어닐링처리 온도가 높아짐에 따라 대수감쇠율이 서서히 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 두 합금의 대수감쇠율의 차이는 합금원소로 첨가되어 있는 Al의 양에 차이가 있음에도 불구하고 인식될 만큼의 차이는 나타나지 않았다.



a) 30 min.



b) 180 min.

Fig. 5 Optical micrographs showing the effect of annealing time at 450°C in 30% hot rolled AZ 61 magnesium alloy

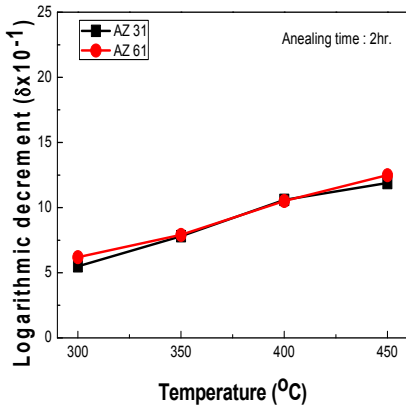


Fig. 6 Effect of annealing temperature on the logarithmic decrement of 30% hot rolled magnesium alloys

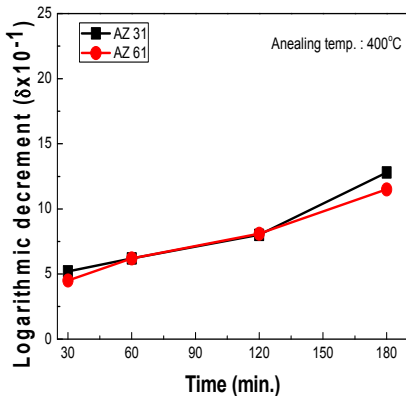


Fig. 7 Effect of annealing time on the logarithmic decrement of 30% hot rolled magnesium alloys

Fig. 7은 열간가공 한 두 합금의 감쇠능에 미치는 어닐링처리 시간의 영향을 알아보기 위하여 400°C에서 30% 열간 압연한 다음 450°C에서 시간을 달리하여 어닐링처리 한 두 시료의 대수감쇠율을 조사하여 나타낸 것이다.

두 시료가 동일하게 어닐링처리 시간이 길어짐에 따라 대수감쇠율이 서서히 증하고 있는 것을 알 수 있고, 역시 두 합금의 대수감쇠율 차이는 크지 않은 것을 알 수 있다.

상용합금으로 많이 사용되고 있는 AZ 31과 61 같은 소성가공용 Mg 합금은 알려진 것과는 달리 합금원소로 첨가된 Al, Zn 등이 전위 이동을 어렵게 하여 진동감쇠능은 크게 높지 않다고 보고되고 있다⁵⁾. 이러한 점을 고려하면 합금원소로 첨가된 Al의 양이 AZ 31 보다 61이 많기 때문에 AZ 61의 감쇠능이 낮아야 함에도 불구하고 30% 열간 압연 한 다음 어닐링처리한 두 Mg 합금의 감쇠능 차이는 크게 나타나지 않았다.

이상의 결과로 부터 어닐링 온도가 높아질수록, 그리고 시간이 길어질수록 감쇠능이 높아지고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 Mg 합금에서 진동감쇠능은 전위기구에 의해 일어나기 때문에⁷⁾ 전위의 이동으로 설명 할 수 있다. 즉 열간가공 한 시료를 어닐링처리 할 때 어닐링처리 온도가 높아질수록, 그리고 어닐링처리 시간이 길어질수록 가공에 의해 도입된 공공, 전위 등과 같은 결함의 농도가 낮아질 뿐만 아니라, α-Mg의 결정립 크기가 커지기 때문에 전위의 이동이 방해를 적게 받아 용이하게 이동 할 수 있기 때문에 진동에너지가 쉽게 소실할 수 있고, 또한 어닐링 온도가 높아질수록 그리고 시간이 길어질수록 전위밀도가 낮아지게 되고, 그 결과 전위 상호간의 교섭 등과 같은 작용이 적게 일어나기 때문에 전위이동이 용이하여 진동ener지를 쉽게 낮출 수 있기 때문이라 판단된^{8,9)}.

4. 결 론

열간가공 한 AZ 31 및 AZ 61 상용 마그네슘합금의 미세조직 및 감쇠능에 미치는 열처리의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 열간압연 한 마그네슘합금은 주조 시 생성된 수지상정에 Mg₁₇Al₁₂ 화합물이 입계를 따라 존재하고 있는 조직으로 되어 있다.
- 2) 어닐링처리에 의해 응고 시 생성된 수지상정은 분해되어 없어지고, Mg₁₇Al₁₂ 화합물도 용해되어 α-Mg에 고용되어 없어졌다.
- 3) 어닐링처리 온도와 시간이 증가할수록 결정

립의 크기가 커지고, 가공에 의해 도입된 전위 등과 같은 결함의 농도가 낮아지는데 기인되어 감쇠능은 서서히 증가하였다.

4) 열간가공 후 어닐링처리 한 두 시료의 감쇠능은 큰 차이가 없었다.

Korean Soci. for Power System Eng., 11, pp. 115-129.

Reference

1. Y. Kojima, T. Aizawa, S. Kamado and K. Higashi, 2003, "Progressive steps in the platform science and technology for advanced magnesium alloy", Mater. Sci. Forum, 3, pp. 419-422.
2. B. L. Mordike and T. Ebert, 2001, "Magnesium Properties - applications - potential", Mater. Sci. Eng. A 302, pp. 37-45.
3. A. Yamashita, Z. Horita and T. G. Langdon, 2001, "Improving the mechanical properties of magnesium alloy through severe plastic deformation", Mater. Sci. Eng. A 300, pp. 142-147.
4. A. A. Luo, 2004, "Recent magnesium alloy development for elevated temperature application", 49, pp. 13-30.
5. D. I. Jang and S. K. Kim, 2008, "Development Trend of Damping Mg Alloy", J. of the Korea Foundry Society, 5, pp. 3-7.
6. D. Birchon, D. E. Bromiey and D. Healey, 1968, "Mechanism of energy dissipation in high damping capacity manganese-copper alloy", Metal Science Journal, 2, pp. 41-46
7. K. Sugimoto, K. Niya, T. Okamoto and K. Kishitake, 1977, "A study of damping capacities in pure Mg and Mg-Ni alloys", Trans. JIM, 18, pp. 277-288.
8. R. D. Aams and M. A. O. Fox, 1973, "Principal mechanism of damping in materials", J. of the Iron and Steel Institute, 21, pp. 37-43.
9. C. Y. Kang, J. H. Eom, H. J. Kim and J. H. Sung, 2007, "The effect of grain size on the damping capacity of Fe-26Mn-2Al alloy", The