

열간 압연 후 어닐링처리한 Mg 합금의 인장강도와 감쇠능과의 관계

이규현 · 오은지 · 김권후 · 김재남* · 강창룡†
부경대학교 금속공학과

Relationship between Tensile Strength and Damping Capacity of Annealed Magnesium Alloys after Hot Rolling

Gyu-Hyun Lee, Eun-Ji Oh, Kwon-Hoo Kim, Jae-Nam Kim*, Chang-Yong Kang†
Dept. of Metallurgical Engineering, Pukyong University, Busan, Korea

Abstract In this study, the relationship between strength and damping capacity of annealed magnesium alloys after hot rolling was investigated. The microstructure of hot rolled magnesium consisted of dendrite structure and $Mg_{17}Al_{12}$ compounds precipitated along the grain boundary. The dendrite structure was dissipated, $Mg_{17}Al_{12}$ compounds was decomposed by annealing, and then its dissolved in α -Mg. With an increasing the annealing temperature and time, strength was slowly decreased and damping capacity was slowly increased by the growth of grain size and decreasing of defects induced by hot rolling. In annealing treated magnesium alloys after hot rolling, damping capacity was decreased rapidly with an increase of strength. There was no proportional relationship between tensile strength, and damping capacity.

(Received October 8, 2014; Revised October 20, 2014; Accepted October 29, 2014)

Key words : Hot rolled, Annealing, Damping capacity, Strength, Specific strength

1. 서 론

Mg 합금은 구조재료 사용되고 있는 금속 중 비강도가 가장 클 뿐만 아니라 우수한 진동 감쇠능과 전자파 차폐성 등의 고유특성을 지니고 있다. 따라서 친환경 하이브리드/연료전지 자동차 등의 수송기기, 디지털 카메라, 노트북, 핸드폰 등과 같은 휴대용 전자. 정보 통신기기를 중심으로 사용량이 점차 증가하고 있는 합금이다[1, 2].

그러나 Mg 합금은 조밀육방(HCP) 구조이기 때문에 실온에서는 제한적 슬립계로 인해 성형성이 크게 낮아 구조용재료로 다양하게 사용되지 못하고 있다. 따라서 Mg 합금에 대한 지금까지의 연구는 성형성과 강도개선 등을 위한 합금조성, 제조공정 개발 등에 집중되어 왔다[3]. 따라서 Mg 합금이 갖는 고유 특성 중 하나인 감쇠능에 대한 연구는 성형성 개선보다는 중요성이 낮고, Mg 합금은 감쇠능이 높다는 일반적 인식 등으로 인하여 상대적으로 많이 수행되

지 않았다[4]. 그러나 향후 Mg 합금의 최대 수요처가 차체 경량화와 주행 안정성 및 정음성 등이 요구되는 수송기기와 외부 충격으로부터 데이터 보호가 필수적인 전자, 정보 통신기기 등의 산업분야라는 점을 고려할 때 진동감쇠 또는 충격완화 특성과 강도의 조합이 우수한 Mg 합금의 설계 및 제조공정 개발 등은 시급하고, 이는 Mg 합금의 수요량의 증가 측면에서 대단히 중요하다.

일반적으로 금속재료는 강도가 높아지면 감쇠능은 비례관계로 낮아진다고 알려져 있다[5, 6]. 그러나 가공유기 마르텐사이트 변태를 일으키는 합금 등에서는 그러한 비례적인 관계가 성립되지 않는 것으로 나타났다[7]. 이러한 점을 고려하면 재료의 강도와 감쇠능의 상호 관계는 그 재료가 갖는 감쇠 기구 등에 따라 달라진다고 판단된다. 때문에 수송기기와 전자, 정보 통신 산업 분야 등에서 요구하는 비강도와 감쇠능의 조합이 우수한 합금을 개발하는데 필요한 자료를 얻기 위해서는 비강도가 높은 Mg 합금에

†Corresponding author. E-mail :

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.

서 강도와 감쇠능의 상호관계를 연구하는 것은 꼭 필요한 실정이다.

이러한 측면을 고려하여 본 연구는 향후 수송기기 산업과 전자, 정보 통신 산업분야 등에서 요구되고 있는 비 강도와 감쇠능의 조합이 우수한 Mg 합금을 개발하는데 관련된 자료를 얻기 위해 수행하였다. 즉, 구조재료로 많이 사용되고 있는 AZ 31 및 AZ 61 Mg 합금을 고온 가공한 다음 어닐링 처리에 따른 강도변화를 조사하고 이를 이전에 보고한 결과[8]와 관련시켜 상호관계를 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 시료

시료는 Mg에 합금원소로 Al과 Zn 등이 첨가되어 있는 AZ 31과 61 상용 Mg 합금 주조재 빌렛 공시재를 사용하였다. 이를 가열중의 산화를 방지하기 위해 알루미늄 포일을 씌운 후 400°C로 가열한 다음 압연하는 과정을 반복적으로 행하여 압연율이 약 30%가 되게 압연하였고 압연후는 유냉하였다. 시료의 화학조성을 Table 1에 나타내었다.

2.2 열처리

열간압연 한 두 마그네슘합금의 열처리는 역시 열처리 하는 동안 일어나는 산화를 방지하기 위하여 역시 알루미늄 포일로 씌운 다음 300°C와 450°C 사이의 여러 온도에서 120분, 그리고 400°C에서 30분에서 최대 180분까지 시간을 달리하여 유지한 다음 유냉하였다.

2.3 미세조직 관찰

열간압연 한 시료와 열간압연 후 온도와 시간을 달리하여 어닐링처리한 일부 시료의 미세조직을 광학현미경과 투과전자현미경(Hitachi, 200 kV)으로 관찰하였다. 이 때, 투과전자현미경 관찰은 시편을 얇은 두께로 절단 후 연마와 정마 과정을 거친 다음 전

해 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.

2.4 인장강도 측정

강도는 열간압연한 시료로 부터 표점거리가 50 mm가 되는 ASTM E 8의 규격을 따라 방전가공에 의해 인장시험편을 제작한 다음 어닐링처리 후 cross head speed를 2 mm/min로 하여 인장시험하여 구하였다.

2.5 감쇠능 측정

감쇠능은 열간압연한 시료로부터 방전가공에 의해 2×20×120 mm 크기의 시험편으로 가공한 다음 어닐링처리 후 횡형 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 방법[9]이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 미세조직관찰

Fig. 1은 400°C에서 30% 열간 압연한 AZ 31 및 AZ 61 두 Mg 합금의 미세조직을 광학현미경으로 나타낸 것이다. 두 시료가 동일하게 응고 시 생성된 수지상정(dendrite) 조직에 Mg₁₇Al₁₂ 화합물들이 입계를 따라 존재하는 것이 관찰되고 있다. 또한 AZ 61 시료가 AZ 31 시료에 비해 Mg₁₇Al₁₂ 화합물의

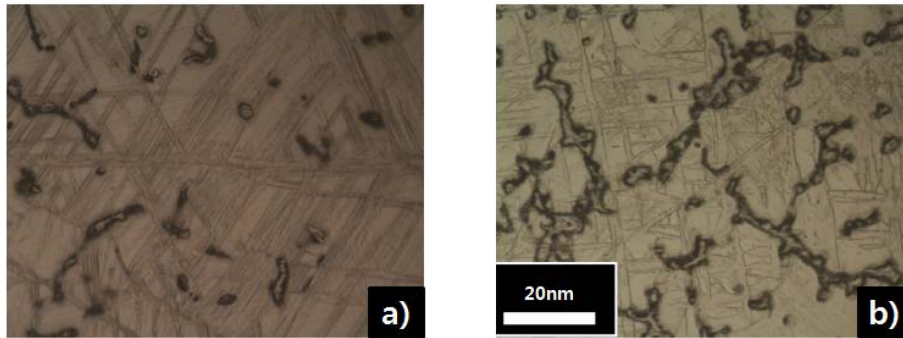


Fig. 1. Optical micrographs of 30% hot rolled magnesium alloys. a) AZ 31, b) AZ 61.

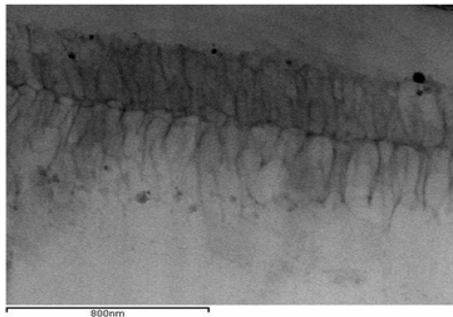


Fig. 2. TEM micrograph of 30% hot rolled AZ 61 magnesium alloys.

양이 많고, 수지상정의 크기가 약간 작은 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 AZ 61 합금이 AZ 31 합금에 비해 Al의 양이 많아 $Mg_{17}Al_{12}$ 화합물이 많이 생성되고, 첨가된 합금원소의 양이 많은데 기인되어 조성적과냉이 커지고 그 결과 핵 생성속도가 빨라 수지상정의 크기가 작아진다고 판단된다⁸⁾.

Fig. 2는 400°C에서 30% 열간압연한 AZ 61 마그네슘합금의 미세조직을 상세히 관찰하기 위하여 투

과전자현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다. 열간압연에 의해 많은 전위들이 도입되어 존재하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 400°C의 압연에서도 많은 전위들이 도입되고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 열간가공 한 시료의 미세조직에 미치는 어닐링 처리의 영향을 알아보기 위하여 400°C에서 30% 열간압연한 두 Mg 합금을 400°C에서 2시간 유지 후 유냉한 다음 투과전자현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다. 두 시료가 동일하게 어닐링처리에 의해 열간압연에 의해 도입된 전위들은 소멸되고, 응고시 발달된 수지상정들도 분해되어 없어지고, $Mg_{17}Al_{12}$ 화합물들은 대부분 용해되어 기지에 고용되어 미세한 $Mg_{17}Al_{12}$ 화합물들만 소량 존재하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 AZ 61합금의 경우가 AZ 31 합금에 비하여 화합물의 입자도 크고, 양도 약간 많은 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 열간압연한 시료의 미세조직에 미치는 어닐링처리 온도의 영향을 알아보기 위하여 400°C에서 30% 열간압연한 AZ 31 합금을 350°C와 450°C 온

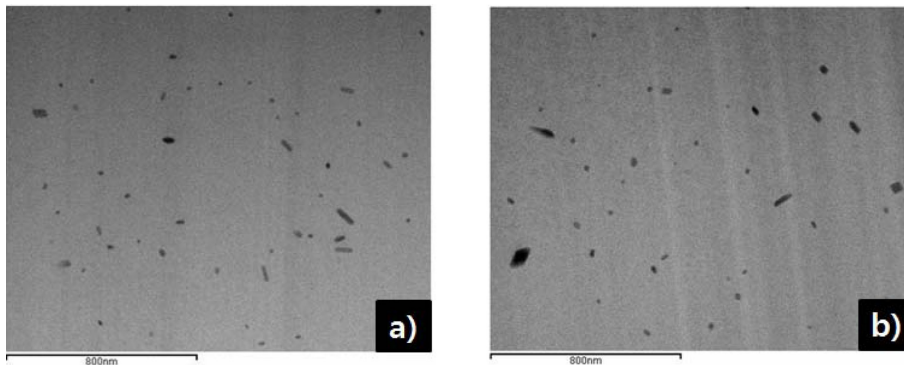


Fig. 3. TEM micrographs of annealed magnesium alloys at 400°C for 2 hrs. after 30% hot rolling. a) AZ31, b) AZ61.

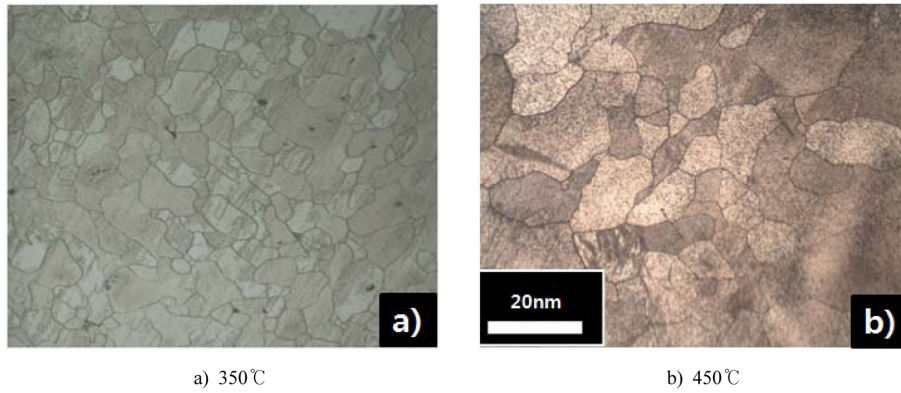


Fig. 4. Optical micrographs showing the effect of annealing temperature in 30% hot rolled AZ 31 magnesium alloy.

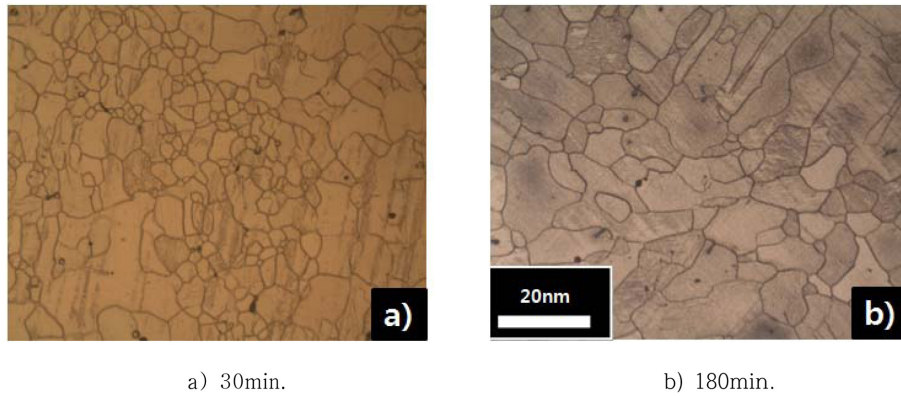


Fig. 5. Optical micrographs showing the effect of annealing time at 400°C in 30% hot rolled AZ 61 magnesium alloy.

도에서 2시간 어닐링처리 한 다음 광학현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다. 어닐링처리 온도에 관계없이 동일하게 응고 시 발달된 수지상정은 분해되어 없어지고, $Mg_{17}Al_{12}$ 화합물들도 대부분 용해 고용되어 α -Mg 고용체에 미세한 $Mg_{17}Al_{12}$ 탄화물들만 관찰되고 있다. 그러나, 어닐링처리 온도가 높은 450°C가 α -Mg 결정립의 크기가 큰 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 어닐링처리 시간의 영향을 조사하기 위하여 30% 열간 압연한 AZ 61 Mg 합금을 400°C에서 30분 및 180분 어닐링처리 한 다음 광학현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다. 역시 어닐링 처리 시간에 관계없이 응고시 발달된 수지상정은 분해되어 없어지고, 화합물들도 대부분 용해, 고용되어 α -Mg 고용체에 소량의 미세한 $Mg_{17}Al_{12}$ 화합물만이 관찰되고 있다. 또한 어닐링처리 시간이 180분으로 긴 경우가 결정립이 큰 것을 알 수 있다.

3.2 강도와 감쇠능에 미치는 열처리의 영향

Fig. 6은 열간압연한 두 Mg 합금의 인장강도에 미치는 어닐링처리 온도와 시간의 영향을 알아보기 위하여 400°C에서 30% 열간압연 한 두 시료를 여러 온도에서 120분, 그리고 400°C에서 최대 180분 까지 시간을 달리하는 어닐링처리 한 다음 인장강도를 조사하여 나타낸 것이다. 어닐링처리 온도의 영향을 나타낸 a)에서는 두 시료가 비슷하게 어닐링온도가 높아짐에 따라 인장강도는 서서히 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 어닐링처리 시간의 영향을 나타낸 b)에서는 어닐링 시간이 길어짐에 따라 두 시료가 비슷한 거동으로 인장강도는 빠르게 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같이 어닐링처리 온도가 높아질수록 그리고 시간이 길어질수록 인장강도가 감소하는 이유는 온도가 높아질수록, 그리고 시간이 길어질수록 결정립의 크기가 커지고, 강도에 영향을

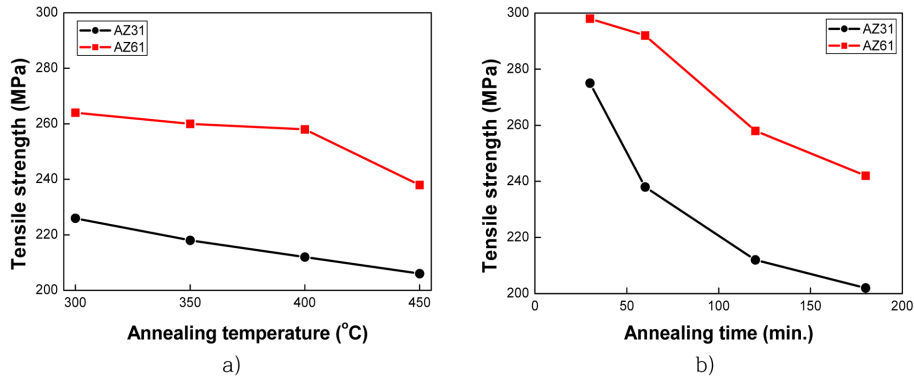


Fig. 6. Effect of annealing temperature and time on tensile strength of hot rolled AZ31 and AZ61 magnesium alloys.

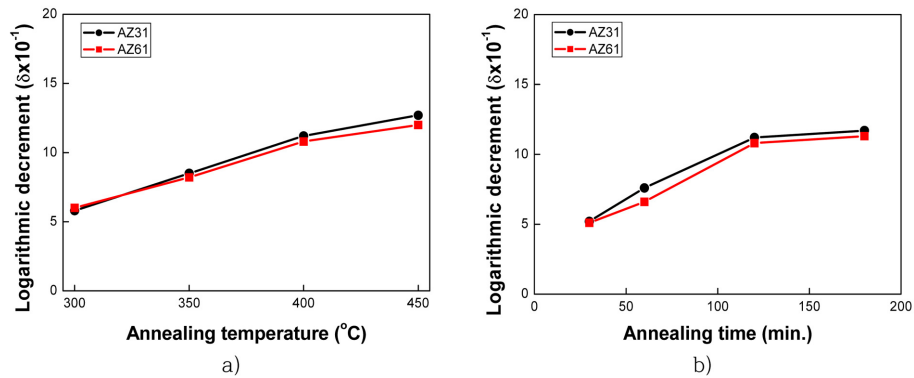


Fig. 7. Effect of annealing temperature and time on the logarithmic decrement of hot rolled AZ31 and AZ61 magnesium alloys.

미치는 주조시 생성된 화합물들과 열간압연에 의해 도입된 전위 등의 양이 적어지는데 기인되어 강화효과가 적어지기 때문이다.

Fig. 7은 열간압연 한 두 Mg 합금의 감쇠능에 미치는 열처리 온도와 시간의 영향을 조사하여 나타낸 것이다[8]. 감쇠능에 미치는 어닐링처리 온도의 영향을 나타낸 a)에서는 두 시료가 비슷하게 어닐링 처리 온도가 높아짐에 따라 대수감쇠율은 빠르게 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 시간의 영향을 조사하여 나타낸 b)에서도 어닐링처리 시간이 길어짐에 따라 두 시료가 비슷하게 대수감쇠율이 빠르게 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 그러나 두 시료의 대수감쇠율 차이는 나타나지 않았다.

이와 같이 어닐링처리 온도가 높아질수록, 그리고 시간이 길어질수록 감쇠능이 높아지는 이유는 Mg 합금에서 감쇠는 전위형기구에 의해 일어난다[10]. 따라

서, 전위의 이동으로 설명 할 수 있다. 즉 어닐링처리 온도가 높아지고, 시간이 길어지면 전위 등의 결함은 적어지게 된다. 따라서 전위 상호간의 교선과 반응, 전위와 결함간과 반응 등이 적게 일어나 전위이동이 용이해져 진동에너지를 쉽게 소실할 수 있고[11], 또한 α -Mg 고용체 결정립 크기가 성장되어 전위 이동이 방해될 적게 받아 이동이 용이해져[12] 진동에너지를 쉽게 소실할 수 있기 때문이라 판단된다.

한편, 일반적으로 AZ 31과 61같은 소성가공용 Mg 합금은 알려진 것과는 달리 합금원소로 첨가된 Al, Zn 등이 전위 이동을 어렵게 하여 진동감쇠능은 크게 높지 않다고 알려져 있다[4]. 이러한 점을 고려하면 합금원소로 첨가된 Al의 양이 AZ 31 보다 많은 61 합금의 감쇠능이 낮아야 함에도 불구하고 30% 열간압연 한 다음 어닐링처리한 두 Mg 합금은 어닐링처리 온도나 시간에 관계없이 큰 차이는 나타

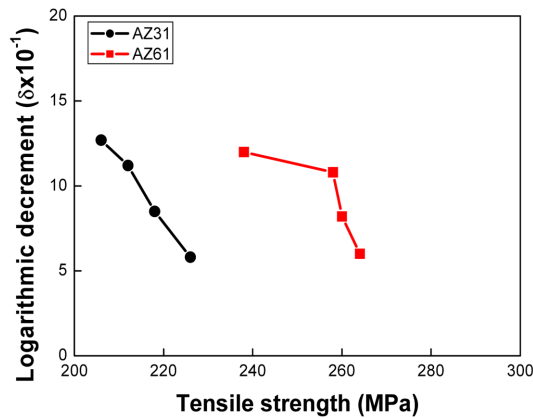


Fig. 8. Relationship between tensile strength and logarithmic decrement of AZ 31 and 61 magnesium alloys obtained after annealing treatment at various temperature for 120 min.

나지 않았다.

3.3 인장강도와 감쇠능과의 상호관계

Fig. 8은 열간가공 후 온도를 달리하여 어닐링처리 한 시료의 강도와 감쇠능의 상호관계를 조사하기 위하여 30% 열간압연한 다음 온도를 달리하여 2시간 어닐링처리한 시료의 대수감쇠율과 인장강도를 서로 관련시켜 나타낸 것이다. 두 합금이 비슷하게 강도가 증가함에 따라 대수감쇠율이 빠르게 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 감쇠능이 빠르게 감소하고 있다.

Fig. 9는 열간가공 후 400°C에서 시간을 달리하여 어닐링처리 한 두 마그네슘 합금의 강도와 감쇠능의 상호관계를 조사하기 위하여 400°C에서 시간을 달리하여 어닐링처리한 시료의 대수감쇠율과 인장강도를 조사하여 서로 관련시켜 나타낸 것이다. 역시 시간을 달리하여 어닐링처리한 경우에도 두 합금이 비슷하게 강도가 증가함에 따라 대수감쇠율이 빠르게 감소하고 있는 것으로부터 감쇠능은 빠르게 감소하고 있다는 것을 알 수 있다. 그러나 온도를 달리하거나 또는 시간을 달리하여 어닐링처리한 경우 모두 인장강도가 증가함에 따라 감쇠능은 서로 비례관계로 감소하지는 않았다.

이상의 결과로부터 열간가공한 다음 어닐링처리한 AZ 31 및 61 마그네슘 합금은 강도가 증가하면 감쇠능은 빠르게 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 또

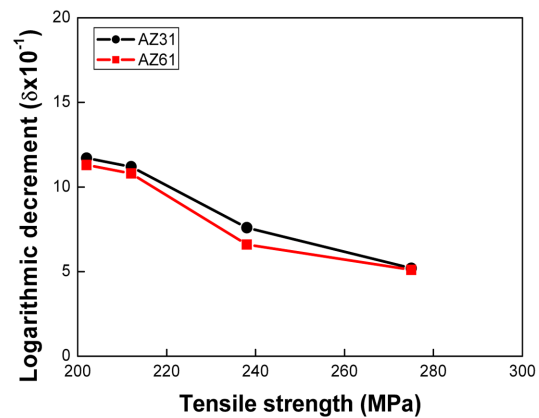


Fig. 9. Relationship between tensile strength and logarithmic decrement of hot rolled AZ 31 and 61 magnesium alloys obtained after annealing treatment at 400°C for various time

한 이와 같은 이유는 마그네슘 합금의 감쇠는 전위 이동에 의해 일어나기 때문에 전위 밀도가 낮아지면 전위 등의 상호 작용이나 반응 등이 적게 일어나 이동이 용이하여 감쇠능은 높아지지만, 상대적으로 강도는 낮아지기 때문이라 판단된다.

4. 결 론

열간가공한 다음 온도와 시간을 달리하여 어닐링처리한 상용 AZ 31 및 AZ 61 마그네슘 합금의 인장강도와 감쇠능과의 상호관계를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 열간압연한 두 마그네슘합금 모두 주조 시 생성된 수지상정에 $Mg_{17}Al_{12}$ 화합물이 입계를 따라 존재하고 있는 조직으로 되어 있다.
2. 두 Mg 합금 모두 어닐링처리에 의해 응고 시 생성된 수지상정은 분해되고, $Mg_{17}Al_{12}$ 화합물도 대부분 용해되어 α -Mg에 고용되어 없어졌다.
3. 두 시료 모두 어닐링처리 온도와 시간이 증가할수록 결정립의 크기가 커지고, 가공에 의해 도입된 전위 등과 같은 결함의 농도가 낮아지는데 기인되어 강도는 서서히 낮아지고, 감쇠능은 서서히 증가하였다.
4. 열간가공후 어닐링처리한 두 Mg합금 모두 강도가 증가하면 감쇠능은 빠르게 감소하였다. 그러나 강도와 감쇠능 사이에는 비례관계는 성립되지 않았다.

References

1. Y. Kojima, T. Aizawa, S. Kamado and K. Higashi : Mater. Sci. Forum, **3** (2003) 419-422.
2. B. L. Mordike and T. Ebert : Mater. Sci. Eng. A **302** (2001) 37-45.
3. A. Yamashita, Z. Horita and T. G. Langdon : Mater. Sci. Eng. A **300** (2001).
4. D. I. Jang and S. K. Kim : J. of the Korea Foundry Society, **5** (2008) 3-7.
5. D. W. James : Mat. Cvi. Eng., **4** (1969) 1.
6. K. Sugimoto : Men. Inst. Sci. Indu. Res., Osaka Univ., **35** (1978) 31.
7. M. G. Kwoon and C. Y. Kang : Kor. J. Mater. Res., **24**(1) (2014) 1-5.
8. G. H. Lee, K. H. Kim, C. Y. Kang : J. of the Korean Soci. for Power System Eng., **18**(4) (2014) 66-71.
9. D. Birchon, D. E. Bromiey and D. Healey : Metal Science Journal, **2** (1968) 41-46.
10. K. Sugimoto, K. Niya, T. Okamoto and K. Kishitake: Trans. JIM, **18** (1977) 277-288.
11. R. D. Aams and M. A. O. Fox : J. of the Iron and Steel Institue, **21** (1973) 37-43.
12. C. Y. Kang, J. H. Eom, H. J. Kim and J. H. Sung : The Korean Soci. for Power System Eng., **11**(1) (2007) 115-129.