

Fe-26Mn-4Co-2Al 제진합금의 인장강도에 미치는 냉간가공의 영향

Effect of Cold Working on the Tensile Strength of Fe-26Mn-4Co-2Al Damping Alloy

강창룡* · 김성휘* · 정규성**†

Chang-Yong Kang*, Seong-Hwi Kim* and Gyu-Seong Jeong**†

(Received 08 August 2016, Revision received 25 October 2016, Accepted 31 October 2016)

Abstract: This study was carried out to investigate the effect of cold working on the tensile strength of Fe-26Mn-4Co-2Al damping alloy. α' and ε -martensite were formed by cold working, and martensite was formed with the specific direction and surface relief. With the increasing degree of cold rolling, volume fraction of α' -martensite was increased, whereas the volume fraction of ε -martensite was decreased after rising to maximum value at specific lever of cold rolling. Tensile strength was linearly increased with an increasing of degree of cold rolling. Tensile strength was strongly affected to the volume fraction of ε -martensite formed by cold working, but the effect of volume fraction of ε -martensite on the tensile strength was not observed.

Key Words : Tensile strength, Cold working, Volume fraction, α' -martensite, ε -Martensite

1. 서 론

일반적으로 소음과 진동은 다양한 형태의 인적, 물적 손실을 초래하고 있을 뿐만 아니라 노동환경의 개선, 상품의 고부가 가치화, 쾌적한 생활환경의 추구 및 기기 또는 장치 등의 안정성과 장수명화 등을 위해서도 소음과 진동에 대한 규제가 점점 강화되고 있고, 이를 저감하기 위한 노력도 활발하다.

현재까지 공업적으로 이용되고 있는 소음과 진동 방지법으로서는 시스템, 구조 및 재료 감쇠법

등이 있지만, 시스템 및 구조 감쇠법은 감쇠효과가 낮고, 제품의 경량화, 소형화, 가공성 및 용접성 등의 어려움이 있어 공업적 이용 면에서는 극히 제한적이다. 이에 반하여 내부마찰 계수가 큰 합금을 이용하는 재료 감쇠법은 소음과 진동을 저감 또는 방지하는 효과가 크고, 가공성 및 부착성 등이 우수하다. 때문에 최근에는 재료 감쇠법에 대한 관심이 크게 높아지고 있고, 제 특성이 우수한 제진합금을 개발하기 위한 많은 연구가 수행되어 왔다.^{1,2)}

일반적으로 합금은 그 종류뿐만 아니라, 동일제

**† 정규성(교신저자) : 유정정공(주)

E-mail : yuj9418@nate.com, Tel : 055-912-1155

*강창룡, 김성휘 : 부경대학교 금속공학과

**† Gyu-Seong Jeong(corresponding author) : Yujeong Precision Co., Ltd.

E-mail : yuj9418@nate.com, Tel : 055-912-1155

*Chang-Yong kang, Seong-Hwi Kim : Department of Metallurgical Engineering, Pukyong National University.

료라도 그 재료가 갖는 조직 등에 따라 강도와 인성 등의 기계적 성질과 감쇠능도 크게 달라진다.³⁾ 또한 제진재료는 강도, 가공성 등이 높고, 제진에 의한 주파수 의존성, 온도 의존성 등이 낮을수록 유리하며, 일반적으로 합금은 강도가 높아지면 감쇠능은 낮아진다고 알려져 있다.^{4,5)} 그러나 이러한 모든 성질들을 만족하는 제진합금의 개발은 어렵다. 때문에 강도와 감쇠능이 우수하고 가공성 등이 뛰어난 구조용 재료로 사용 가능한 제진합금 개발을 위한 많은 연구가 수행되어 왔지만¹⁻⁶⁾, 많이 부족하다.

본 연구는 강도와 감쇠능이 우수하면서 내식성이 양호한 제진합금 개발에 필요한 자료를 얻기 위해 수행하였다. 즉 감쇠능, 강도가 우수한 Fe-Mn계 합금에서 고용강화에 따른 강도 향상과 적층결함을 낮춤으로써 감쇠능을 높이기 위해 4%의 Co를 첨가하고^{3,7)}, 또한 내식성 향상을 위하여 2%의 Al이 첨가된 Fe-26Mn-4Co-2Al 제진합금을 설계하였다. 다음 가공량을 달리하는 냉간가공으로 미세조직을 변화시킨 후 인장성질에 미치는 미세조직의 영향을 조사하였다.

2. 시료 및 실험방법

Table 1 Chemical composition of specimen (wt.%)

C	N	Si	P	S	Mn	Co	Al	Fe
0.01	0.02	0.06	0.001	0.008	26.3	3.97	2.23	bal.

시료는 먼저 진공용해로에서 용해하여 잉곳으로 제작하고 이를 1,200℃로 가열한 다음 열간압연하여 여러 두께의 판재로 만들었다. 그 후 1050℃에서 1시간 유지 후 수냉하는 용체화처리와 산세과정을 거쳐 압연율을 달리하는 냉간압연으로 최종 2 mm 두께로 만들어 시험편으로 사용하였다. Table 1에 최종 시료의 화학조성을 나타내었다.

용체화처리한 시료와 용체화처리 후 냉간압연한 시료의 미세조직을 광학현미경, 주사 및 투과전자현미경으로 관찰하였다. 투과전자현미경 관찰은 시료를 80 μm 두께로 만든 다음 Jet Polishing 하여 박막으로 만든 후 200 kV 가속전압의 투과전

자현미경(JEOL JEM 2010)으로 조사하였다. 또한 각 시료가 갖는 미세조직의 체적분율은 X-선 회절시험으로 측정하였다. X-선 회절시험은 Mo-Kα 특성 X선을 사용하여 1 °/min의 속도로 10~80° 사이의 범위를 회절시험하였고, 이 때 얻은 회절선도로 부터 각상에 해당되는 피크의 상대 적분 강도 값을 사용하여 측정하였다. 한편 인장강도를 구하기 위한 인장시험은 냉간압연한 시료로부터 평행부 길이가 50 mm인 ASTM E-8의 규격을 따라 시험편을 제작 후 cross head speed를 2 mm/min로 하여 시험하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 미세조직관찰

Fig. 1은 Fe-26%Mn-4%Co-2%Al 합금의 미세조직을 광학현미경으로 나타낸 것이다. 부분적으로 쌍정이 존재하고 있는 오스테나이트 조직에 소량의 마르텐사이트가 함께 존재하고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 2는 미세조직에 미치는 냉간가공의 영향을 조사하기 위하여 용체화처리 후 28% 냉간압연한 시료의 미세조직을 광학현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다. 가공에 의해 오스테나이트가 마르텐사이트(이후 가공유기 마르텐사이트라 한다)로 변태되는데 기인하여 오스테나이트에 비교적 많은 마르텐사이트가 존재하고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 가공에 의해 생성되는 마르텐사이트를 보다 상세히 조사하기 위하여 28% 냉간압연한 시료의 미세조직을 주사전자현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다. 냉간가공에 의해 오스테나이트의 일부가 마르텐사이트로 변태되어 있고, 이 때 마르텐사이트는 일반 강에서와 동일하게^{3,8)} 표면기복을 일으키며 특정한 방향성을 지니고, 일부는 서로 교차하며 생성되어 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 가공에 의해 생성되는 마르텐사이트를 결정학적으로 조사하기 위하여 16% 냉간압연한 시료의 미세조직을 투과전자현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다. 사진 a)는 암시야 상으로, b)는 암시야상에서 나타낸 상의 제한시야회절 패턴과 이를 분석하여 나타낸 것이다. BCT 결정구조를 갖는 α'-마르텐사이트와 HCP 결정구조를 갖는 ε-마

르텐사이트가 함께 생성되어 있는 것을 알 수 있다. 또한 마르텐사이트는 방향성을 띠고 생성되거나 또는 서로 교차하며 생성되어 있고, α' -마르텐사이트는 주로 ϵ -마르텐사이트 밴드위에서 생성되어 있는 것을 알 수 있다.

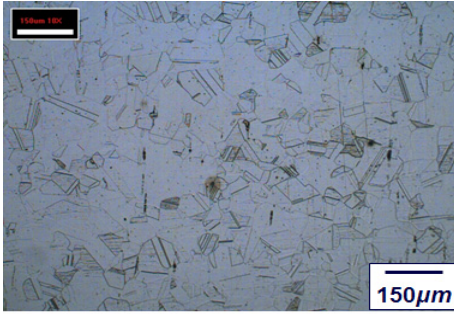


Fig. 1 Optical micrograph of Fe-26Mn-3Co-2Al Damping alloy



Fig. 2 Optical micrograph of 28% cold rolled Fe-26Mn-3Co-2Al damping alloy

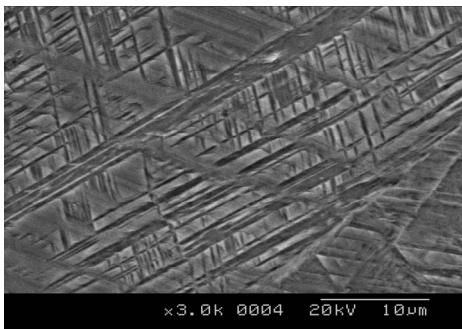


Fig. 3 SEM micrograph of Fe-26Mn-3Co-2Al damping alloy obtained after 28% cold rolling

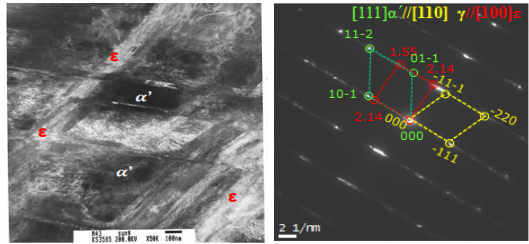


Fig. 4 TEM micrograph showing the α' and ϵ martensite in Fe-26Mn-3Co-2Al damping alloy obtained after 16% cold rolling
(a) dark field (b) SADP and indexing of SADP

3.2 미세조직과 감쇠능에 미치는 냉간가공의 영향

Fig. 5는 용체화처리 후 가공량을 달리하여 냉간압연한 시료에서 존재하는 각 상들의 체적분율을 조사하여 나타낸 것이다. 압연량이 증가함에 따라 빠르게 오스테나이트의 양은 감소하고, α' -마르텐사이트의 양은 증가하고 있는데 반하여, ϵ -마르텐사이트의 양은 증가하다 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같이 압연량이 증가함에 따라 오스테나이트의 양이 감소하고 α' 및 ϵ -마르텐사이트의 양이 증가하는 이유는 가공에 의해 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태되기 때문이다. 또한 가공량이 증가함에 따라 ϵ -마르텐사이트는 증가하다 감소하는데 반하여 α' -마르텐사이트는 계속 증가하는 이유는 상온에서 준안정 오스테나이트 조직을 갖는 강에서 가공에 의해 생성되는 α' -마르텐사이트는 오스테나이트 조직 내 전위 집적부 또는 잘 발달된 슬립밴드 등에서 생성되거나 밴드형상의 ϵ -마르텐사이트 또는 밴드의 교차점 등에서 생성된다고 알려져 있다.⁸⁾ 본 실험에서도 α' -마르텐사이트가 오스테나이트 내 전위 집적부, 슬립밴드 등에서도 생성되지만, ϵ -마르텐사이트의 밴드 또는 밴드 교차점 등에서 생성되어 성장해 가기 때문이라 판단된다.

Fig. 6은 인장강도에 미치는 냉간가공의 영향을 조사하기 위하여 가공량을 달리하여 압연한 시료의 인장강도를 조사하여 나타낸 것이다. 인장강도는 가공량이 증가함에 따라 강도가 낮은 오스테

나이트가 강도가 높은 마르텐사이트로 변태되는 양이 많아지는데 기인되어⁹⁾ 비례관계로 빠르게 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

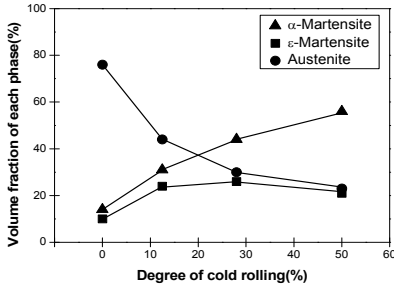


Fig. 5 Effect of degree of cold rolling on the volume fraction of each phase in Fe-26Mn-3Co-2Al damping alloy

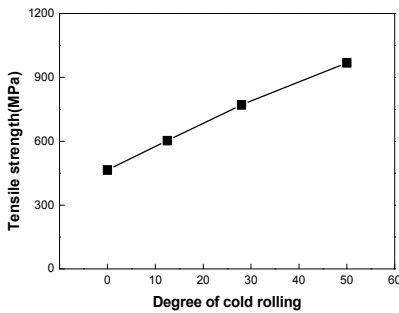


Fig. 6 Effect of degree of cold rolling on the tensile strength in Fe-26Mn-3Co-2Al damping alloy

3.3 인장강도에 미치는 가공유기 마르텐사이트의 영향

Fig. 7은 인장강도에 미치는 가공에 의해 생성되는 α' -마르텐사이트의 영향을 조사하기 위하여 가공량을 달리하여 냉간압연한 시료의 인장강도와 가공에 의해 생성된 α' -마르텐사이트 체적분율과의 관계를 조사하여 나타낸 것이다. α' -마르텐사이트의 체적분율이 증가함에 따라 인장강도는 직선적인 비례관계로 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 이 결과로부터 인장강도는 α' -마르텐사이트

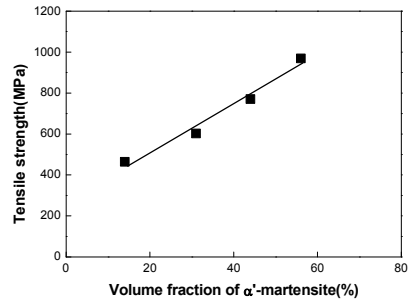


Fig. 7 Effect of volume fraction of α' -Martensite on the tensile strength in Fe-26Mn-4Co-2Al damping alloy

트에 크게 영향을 받고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 인장강도에 미치는 가공에 의해 생성된 ϵ -마르텐사이트의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. ϵ -마르텐사이트의 체적분율이 증가함에 따라 인장강도는 빠르게 증가하다 감소한 다음 다시 증가하는 거동을 나타내고 있으며, 서로 비례하지 않는 것을 알 수 있다. 따라서 인장강도는 가공에 의해 생성되는 ϵ -마르텐사이트에 크게 지배되지 않고 있는 것을 알 수 있다.

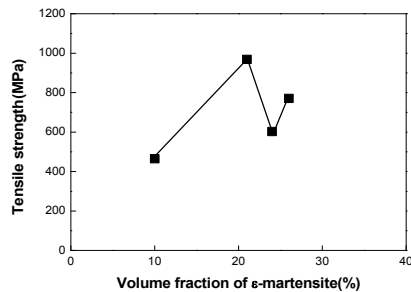


Fig. 8 Effect of volume fraction of ϵ -Martensite on the tensile strength in Fe-26Mn-4Co-2Al damping alloy

Fig. 9는 인장강도에 미치는 가공에 의해 생성된 전체 마르텐사이트의 영향을 조사하기 위하여 가공량을 달리하여 냉간가공한 시료의 인장강도와 α' 및 ϵ -마르텐사이트의 양을 더한 전체 마르텐사이트 양과의 관계를 조사하여 나타낸 것이다.

전체 마르텐사이트의 양이 증가함에 따라 인장강도는 서서히 증가하다 빠르게 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 이러한 결과는 인장강도는 전체 마르텐사이트의 양이 증가함에 따라 증가하지만, 가공량이 증가함에 따라 양이 증가하다 감소하는 ϵ -마르텐사이트보다 가공량이 증가함에 따라 양이 계속 증가하는 α' -마르텐사이트에 더 크게 영향을 받기 때문이라 판단된다.⁹⁾

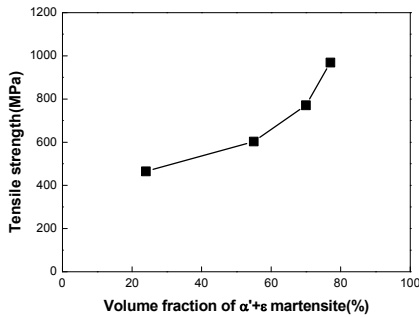


Fig. 9 Effect of volume fraction of $\alpha'+\epsilon$ martensite on the tensile strength in Fe-26Mn-4Co-2Al damping alloy

4. 결론

Fe-26Mn-4Co-2Al 합금을 가공량을 달리하는 냉간압연하여 미세조직을 변화시킨 다음 인장강도에 미치는 냉간가공의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 냉간가공에 의해 α' 및 ϵ -마르텐사이트가 방향성을 지니고, 표면기복을 일으키며 생성되었다.

2) 가공량이 증가함에 따라 α' -마르텐사이트의 양은 증가하는데 반하여, ϵ -마르텐사이트의 양은 증가하다 특정 가공량에서 최대 값을 나타낸 다음 감소하였다.

3) 가공량이 증가함에 따라 인장강도는 직선적인 비례관계로 증가하였다.

4) 인장강도는 가공에 의해 생성되는 α' -마르텐사이트의 양에 크게 영향을 받았다. 그러나 ϵ -마르텐사이트에는 영향을 크게 받지 않았다.

References

1. N. Chiba, 1985, "Current Status of vibration Damping Laminated steel sheets", Tetsu-to-Hagane, Vol. 71, No. 15, pp. 1742-1750.
2. K. K. Jee, W. Y. Jang, S. H. Baik and M. C. Shin, 1999, "Damping mechanism and application of Fe-Mn based alloys", Materials Science and Engineering: A", Elsevier, Vol. 273-275, pp. 538-542.
3. M. K. Kwon and C. Y. Kang, 2014, "Correlationship Between Tensile Properties and Damping Capacity of 316L Stainless Steel", Korean J. Mater. Res., Vol. 24, No. 1, pp. 1-5.
4. W. Namgung, M. H. Jung, H. B. Lee, J. N. Kim and C. Y. Kang, 2013, "Relationship Between Mechanical Properties and Damping Capacity in Stainless Steel with Two Phases of Reversed Austenite and Deformation Induced Martensite", J. of the Korean Soc. for Power System Engi., Vol. 17, No. 2, pp. 114-120
5. H. V. Panossian, 1992, "Structural Damping Enhancement Via Non-Obstructive Particle Damping Technique", J. of Vibration and Acoustics, Vol. 114, No. 1, pp. 101-105.
6. S. H. Baik, J. C. Kim, K. K. Jee and C. S. Choi, 1997, "Transformation Behavior and Damping Capacity in Fe-17%Mn-X%C-Y%Ti Alloy", ISIJ Inter. Vol. 37, No. 5, pp. 519-522.
7. I. S. Kim et al, 2007, "Effect of Co and ϵ Martensite on the Damping Capacity of High Strength Fe-Cr-Mn-Co Alloys", J. Kor. Inst. Met. & Mater. Vol. 45, No. 9, pp. 403-408.
8. J. A. Venables, 1962, "The Martensite Transformation in Stainless Steel", Phil. Mag., Vol. 7, No. 73, pp. 35-44.
9. D. W. Son, J. M. Lee, H. J. Kim, K. W. Nam, K. S. Park and C. Y. Kang, 2006, "The Effect of Microstructure in Austenite 316L Stainless Steel on the Strength and Damping Capacity", J. Ocean Eng. Technol., Vol. 20, No. 1, pp. 1-6.