

Fe-Cr-Mn-X계 합금의 감쇠능 및 플라즈마이온질화 특성에 미치는 합금원소의 영향 [I 감쇠능]

The Effect of Alloy Elements on the Damping Capacity and Plasma Ion Nitriding Characteristic of Fe-Cr-Mn-X Alloys [I Damping Capacity]

손동욱 · 정상훈 · 김재환 · 이종문 · 김익수 · 강창룡

D. U. Son, S. H. Jeong, J. H. Kim, J. M. Lee, I. S. Kim and C. Y. Kang

Key Words : Noise(소음), Vibration(진동), Damping Capacity(감쇠능), Deformation Induced Martensite (가공유기 마르텐사이트), Strength(강도), ϵ Martensite(입실론 마르텐사이트), Volume Fraction(체적분율)

Abstract : The damping property of Fe-12Cr-22Mn-X alloys has been investigated to develop high damping and high strength alloy. Particularly, the effect of the phase of austenite, alpha and epsilon martensite, which constitute the structure of the alloys Fe-12Cr-22Mn-X alloys, on the damping capacity at room temperature has been investigated. Various fraction of these phases were formed depending on the alloy element and cold work degree. The damping capacity is strongly affected by ϵ martensite while the other phase, such as α' martensite, actually exhibit little effect on damping capacity. In case of Fe-12Cr-22Mn-3Co alloy, the large volume fraction of ϵ martensite formed at about 30% cold rolling, and in case of Fe-12Cr-22Mn-1Ti alloy, formed at about 20% cold rolling and showed the highest damping capacity. Damping capacity showed higher value in Fe-12Cr-22Mn-1Ti alloy than one in Fe-12Cr-22Mn-3Co alloy.

1. 서 론

소음과 진동은 인간에게 심리적 불안감 및 난청 등과 같은 질병을 유발시킬 뿐만 아니라, 정밀기기의 정밀도 저하, 부품의 조기 피로파괴 등과 같은 많은 문제를 유발하고 있다¹⁾. 따라서 소음과 진동에 관한 사회적 관심이 점차 고조되고 있고, 이에 대한 법적 규제도 점차 강화되고 있다.

현재 산업적으로 이용되고 있는 소음과 진동을 방지하기 위한 방법으로서는 크게 소음과 진동이 발생되는 곳에 오일댐퍼나 에어댐퍼 등을 부착하는 방법(system damping법), 금속재료와 금속재료사이에 점탄성 고분자 재료를 끼워 넣는 방법(structural

damping법) 및 소음과 진동 발생원에 내부마찰계수가 큰 재료를 사용함으로써 재료 그 자체가 소음과 진동에너지를 직접 흡수하게 하는 재료개선에 의한 방법(material damping법) 등이 있다. 이중 재료개선에 의한 방법은 소음 및 진동의 방지 효과가 크고 부품의 피로 수명 등의 증가를 가져올 수 있는 장점을 지니고 있기 때문에 최근 많은 관심의 대상이 되고 있을 뿐만 아니라 이에 대한 연구^{2) 12)}도 활발히 수행되어 왔고, 그 결과 다수의 제진합금들이 개발되어 일부는 산업적으로 사용되고 있다. 그러나 지금까지 개발된 제진합금은 사용 중에 감쇠능이 떨어지거나, 강도 및 내식성 낮거나, 가공이 어려운 점 등 다양한 형태의 단점을 지니고 있다¹⁰⁾. 때문에 우수한 기계적 특성과 내식성을 지니면서 소음과 진동에 관계되는 에너지를 쉽게 소실시킬 수 있는 제 특성이 우수한 새로운 제진합금의 개발이 절실히 요구되고 있다.

본 연구는 이러한 요구에 부응할 수 있는 기존의 제진합금보다도 제진특성이 우수하면서 강도가 높은 새로운 제진합금을 설계하는데 필요한 자료를

접수일 : 2004년 11월 11일
강창룡(책임저자) : 부경대학교 금속시스템공학과
E-mail : metkcy@pknu.ac.kr Tel : 051)620-1479
손동욱 : 대구 기능대학교
정상훈 : 조선선재 (주) 연구소
이종문, 김재환 : 부경대학교 금속시스템공학과
김익수 : 일본 신슈대학교

얻기 위하여 Fe-12Cr-22Mn의 화학조성에 적층결함 에너지를 낮게 함으로써 감쇠능을 더 높게 하기 위하여 3%의 Co를 첨가한 시료와 질화물 형성에 의해 유용한 표면 경화층을 얻기 위하여 1%의 Ti가 첨가된 시료를 제작한 후 압연율을 달리하는 압연에 의해 미세조직을 변화시킨 다음 미세조직 변화가 감쇠능에 미치는 영향을 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 시료

본 실험에 사용된 시료는 Fe-12Cr-22Mn의 화학조성에 3%의 Co 및 1%의 Ti이 첨가된 시료를 진공 고주파 용해로에서 용해한 다음 소정의 크기를 갖는 잉곳으로 만들었다. 이를 1,200°C의 온도에서 열간 압연하여 약 3mm 두께의 판재로 압연 한 다음 산세(pickling) 후 실온에서 압연하여 필요한 두께인 1, 1.2, 1.4 및 2mm 두께의 판재로 만들었다. 또한 냉간 압연이 끝난 시료를 1050°C에서 용체화처리(solution treatment)를 실시 한 다음 상온서 압연율을 달리하는 압연을 실시하여 최종 1mm가 되도록 하여 감쇠능 측정 시험편 및 미세조직의 정성 및 정량 분석 시험편 등으로 사용하였으며, 이때 사용된 시험편의 화학적 조성을 Table.1에 나타내었다.

Table.1 Chemical composition of specimens(wt%)

Spec. \ Com.	Cr	Mn	C	Si	Co	Ti	Fe
A	12.89	21.2	0.002	0.02	3	·	Bal.
B	13.1	22.1	0.002	0.02	·	1	Bal.

2.2 미세조직 관찰

Fe-12Cr-22Mn의 화학조성에 3% Co 및 1% Ti가 첨가된 용체화처리한 시료와 이를 상온에서 15%, 30% 및 50% 냉간 압연한 시료의 미세조직을 광학현미경에 의해 관찰하였고, 가공유기 생성되는 마르텐사이트의 보다 상세한 관찰을 주사전자 현미경을 사용하여 관찰하였다.

2.3 X선 회절 시험

첨가된 합금원소의 변화 및 압연을 변화에 따른 미세조직의 정량적 변화를 측정하기 위한 X선 회절 시험은 Mo-K α_1 특성 X선으로 1°/min의 속도로 회절 시험하였을 때 얻은 회절 선도로부터 오스테나

이트, α' 마르텐사이트 및 ϵ 마르텐사이트 상의 체적분율 변화를 측정하였다. 이때 체적분율 측정은 X선 회절 선도 중 α' (110), ν (200), ϵ (10·0)면에 해당하는 회절선의 적분강도 값으로부터 구하였다.

2.4 감쇠능 측정

Fe-Cr-Mn에 3%Co 및 1%Ti이 첨가된 시료를 상온에서 압연율을 달리하는 냉간 압연을 실시한 다음 압연을 변화에 따른 감쇠능의 변화를 조사하기 위한 대수 감쇠율 측정은 비틀림 전자 시험 장치를 사용하여 시편을 자유 진동시킨 다음 시간의 경과에 따른 진동 후의 변화를 측정하는 방법에 의해 마찰계수를 측정하는 방법으로 측정하였다. 즉, 시료의 진동감쇠능 측정은 횡형 내부마찰 측정 장치(眞空理化, IFT-1500)를 이용하여 대수 감쇠율을 측정하였다. 이 실험은 진동을 가하는 전극과 진동을 검출하는 전극 위에 시료를 2개의 평행한 세선으로 전극에 접촉되지 않게 배열한 다음 진동을 가하는 전극으로 강제 진동시킨 후 자유 감쇠시켜 감쇠할 때까지의 파수를 측정하여 대수 감쇠율($\delta=1/n \ln A_0/A_n$, 여기서 n: 파수, A_0 : 최초파의 진폭, A_n : n번째 파의 진폭)을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 미세조직 관찰

Fig. 1은 Fe-12Cr-22Mn의 화학조성에 3% Co 및 1% Ti이 첨가된 용체화처리한 시료와 용체화처리 후 상온에서 약 15% 및 50% 냉간압연 한 시료의 미세조직을 광학현미경에 의해 나타낸 것이다. 두 시료 모두 용체화처리한 사진에서는 오스테나이트 조직에 광학 현미경으로 관찰이 어려운 소량의 마르텐사이트 조직으로 이루어져 있음을 알 수 있고, 15% 및 50% 냉간압연 한 시료에서는 오스테나이트 조직이 가공에 의해 마르텐사이트 조직으로 가공유기 변태되어 많은 양의 마르텐사이트 조직이 존재하고 있음을 알 수 있다. 또한 압연량이 많아질수록 가공유기 생성되는 마르텐사이트가 많아지고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 조직 관찰로부터 가공에 의해 오스테나이트 조직이 마르텐사이트 조직으로 가공유기 변태하고 있음을 알 수 있다⁴⁾.

Fig. 2는 Fe-12Cr-22Mn에 3%의 Co가 첨가된 합금을 상온에서 50% 냉간 압연 하였을 때 생성된 마르텐사이트 조직을 주사전자 현미경에 의해 나타낸

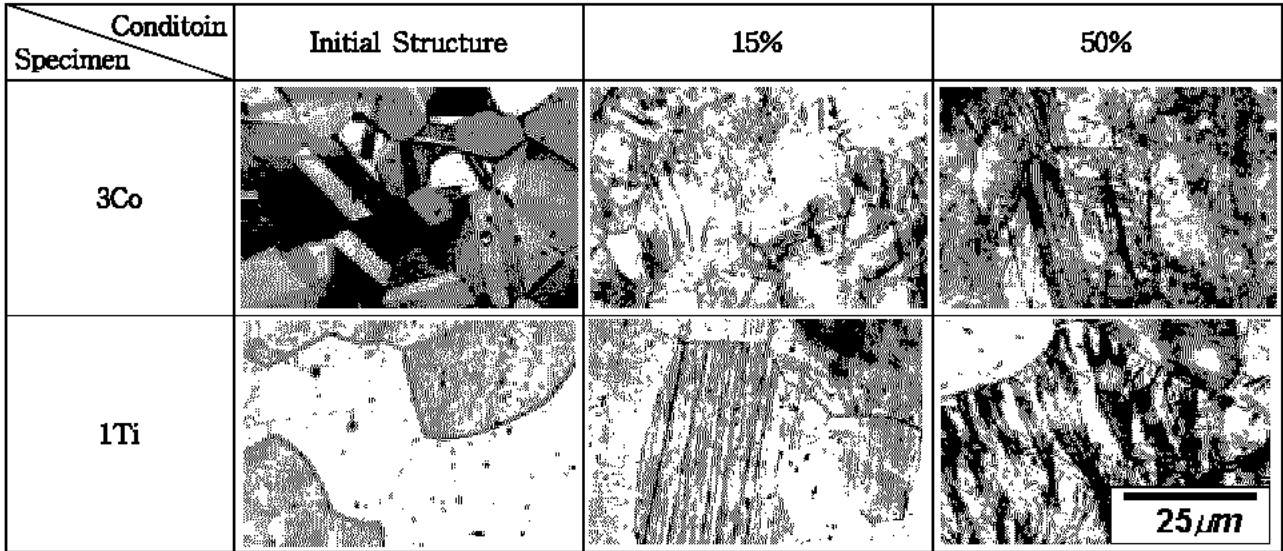


Fig. 1 Optical microstructure showing the effect of cold rolling on the microstructure of Fe-Cr-Mn-X alloys.

것이다. 마르텐사이트 조직이 가공에 의해 표면기복을 일으키면서 일 방향 또는 서로 교차하면서 생성되고 있음을 알 수 있다⁴⁾.

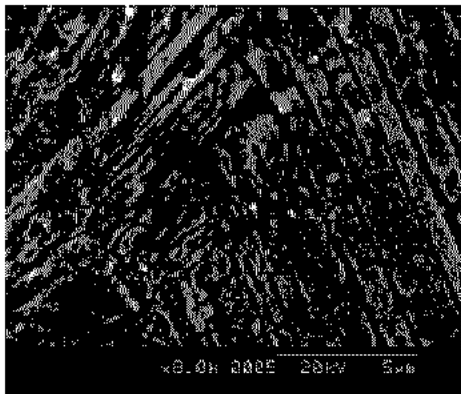


Fig. 2 SEM microstructure showing the martensite formation by 50% cold rolling in Fe-12Cr-22Mn-3Co alloy.

3.2 미세조직 및 대수 감쇠율 변화에 미치는 냉간 가공의 영향

Fig. 3과 4는 Fe-12Cr-22Mn에 3%Co 및 1%의 Ti가 첨가된 시료를 상온에서 가공량을 달리하는 압연을 실시한 다음 가공량의 변화에 따른 각상의 체적분을 변화를 조사하여 나타낸 것이다. 두 시료 모두 비슷한 거동으로 가공량이 증가함에 따라 오스테나이트의 양은 급격히 감소하고 있고, ϵ 마르텐사이트의 양은 증가하다 특정 가공량에서 최대 값을 나타낸 다음 감소하는 특이한 거동을 나타내고 있는데 반하여 α' 마르텐사이트의 양은 서서히 증

가 하다 ϵ 마르텐사이트가 감소하기 시작하는 지점 부근부터 급격히 증가하고 있음을 알 수 있다.

이와 같이 가공량이 증가 할수록 오스테나이트의 양이 감소하는 이유는 오스테나이트 조직이 가공에 의해 α' 및 ϵ 마르텐사이트 조직으로 변태되기 때문이며, 가공량이 증가 할수록 ϵ 마르텐사이트의 양은 증가하다 특정 가공량에서 최대 값을 나타 낸 후 감소하는데 반하여 α' 마르텐사이트의 양은 계속 증가 하고, 특히 ϵ 마르텐사이트의 양이 감소하기 시작하는 시점부터 급격히 증가하는 이유는 상온에서 준안정 오스테나이트 조직을 갖는 강에서 가공유기 생성되는 α' 마르텐사이트는 주로 오스테나이트 내 전위 집적부 또는 ϵ 마르텐사이트의 밴드 및 밴드의 교차점 등에서 생성된다고 알려져 있다⁴⁾. 본 실험에서도 α' 마르텐사이트가 오스테나이트 상내 전

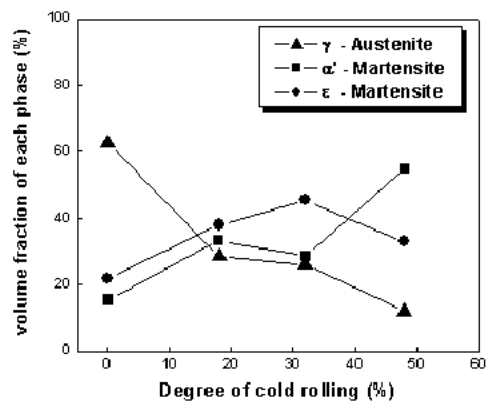


Fig. 3 Effect of degree of cold rolling on the volume fraction of each phase at 24°C in Fe-12Cr-22Mn-3Co alloy.

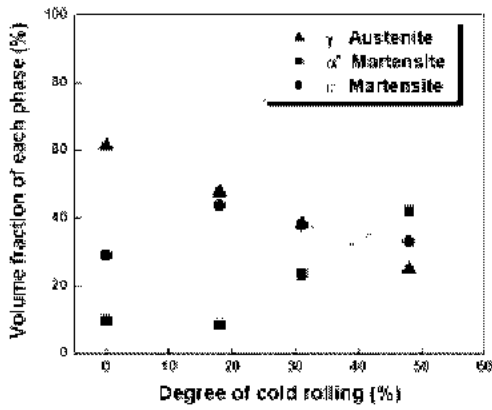


Fig. 4 Effect of degree of cold rolling on the volume fraction of each phase at 24°C in Fe-12Cr-22Mn-1Ti alloy.

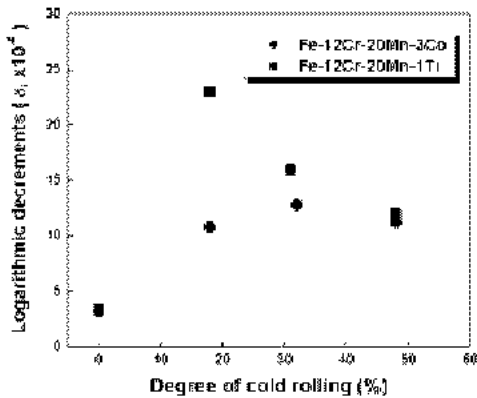


Fig. 5 Effect of degree of cold rolling on the logarithmic decrement in Fe-12Cr-22Mn-X alloys.

위뿐만 아니라 ε 마르텐사이트의 밴드 또는 밴드의 교차점에서 생성되기 때문에 ε 마르텐사이트는 증가하다 감소하게 되고, α' 마르텐사이트는 ε 마르텐사이트가 감소하는 시점에서부터 급격히 증가한다고 생각되며, 이러한 결과는 상온에서 준안정 오스테나이트 조직을 갖는 합금의 다른 연구 결과와 잘 일치되고 있다^{4,5)}.

Fig. 5는 두 시료의 감쇠능에 미치는 냉간가공의 영향을 알아보기 위하여 시료를 상온에서 가공량을 달리하는 냉간압연을 한 다음 대수 감쇠율을 측정하여 나타낸 것이다. 두 시료 모두 대수 감쇠율은 가공량의 증가와 함께 증가하다가 특정 가공량에서 최대 값을 나타낸 후 감소하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있고, 이러한 결과는 가공량의 변화에 따른 ε 마르텐사이트 조직의 체적분을 변화와 비슷한 거동임을 알 수 있다. 이 결과로부터 진동감쇠능

은 ε 마르텐사이트 조직에 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

지금까지의 연구 결과에 의하면 오스테나이트 조직이 가공에 의해 마르텐사이트 조직으로 변태되는 합금에서 감쇠기구는 오스테나이트 상과 ε 마르텐사이트 상의 계면이동, 오스테나이트 조직 내부의 적층결합 경계의 이동, ε 마르텐사이트 내부 적층결합⁴⁾. 본 실험에서도 α' 마르텐사이트가 오스테나이트 상내 전위뿐만 아니라 ε 마르텐사이트의 밴드함 경계의 이동 및 ε 마르텐사이트 내부의 형제정계면의 이동 등 4가지로 알려져 있다⁷⁾. 따라서 본 실험의 경우 가공도가 낮은 초기단계에서 가공량의 증가와 함께 감쇠율이 증가 하는 것은 ε 마르텐사이트의 양이 많아지는데 기인되는 오스테나이트와 ε 마르텐사이트의 계면 이동과 ε 마르텐사이트 내의 적층결합의 증가에 기인되는 적층결합 경계의 이동 때문이고, 가공도가 많아지면 대수 감쇠율이 감소하는 이유는 ε 마르텐사이트의 양이 감소하여 ε 마르텐사이트 내 적층결합이 감소할 뿐만 아니라 ε 마르텐사이트 내 많은 전위가 발생하여 적층결합의 이동을 어렵게 하기 때문이라 생각 된다⁷⁾. 한편 3%Co를 첨가한 시료보다 1%Ti이 첨가된 시료가 감쇠능이 높게 나타나고 있음을 알 수 있고, 또한 3%Co를 함유한 시료는 가공량이 30%일 때 감쇠율이 가장 높은데 반하여, 1%Ti이 첨가된 시료에서는 가공량이 15%일 때 가장 높은 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 가공에 의해 오스테나이트 조직이 α' 및 ε 마르텐사이트 조직으로 변태되는 강의 경우 가공유기 변태되는 정도는 오스테나이트의 안정도에 지배되고, 오스테나이트의 안정도는 화학조성, 가공온도, 결정립크기 등에 지배된다⁵⁾. 따라서 1%Ti이 첨가된 시료의 경우가 3%Co가 첨가된 시료에 비하여 오스테나이트의 안정도가 더욱 낮기 때문에 변형에 의해 더 많은 양의 오스테나이트가 ε 마르텐사이트로 변태할 뿐만 아니라, 가공량이 적은 변형의 초기 단계에서 더 많은 양의 ε 마르텐사이트가 생성되기 때문이라 생각된다.

3.3 진동 감쇠능에 미치는 미세조직의 영향

Fig. 6은 두 시료의 대수 감쇠율에 미치는 ε 마르텐사이트의 영향을 알아보기 위하여 가공량을 달리하는 압연을 한 다음 대수감쇠율의 변화를 ε 마르텐사이트의 체적분을 변화에 대해 나타낸 것이다. ε 마르텐사이트 체적분율이 증가함에 따라 대수 감쇠율이 직선적인 비례관계로 증가하고 있음을 알 수 있었다.

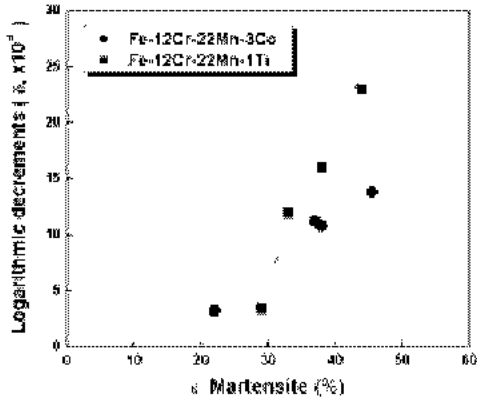


Fig. 6 Effect of volume fraction of ϵ martensite on the logarithmic decrement in Fe-12Cr-22Mn-X alloys.

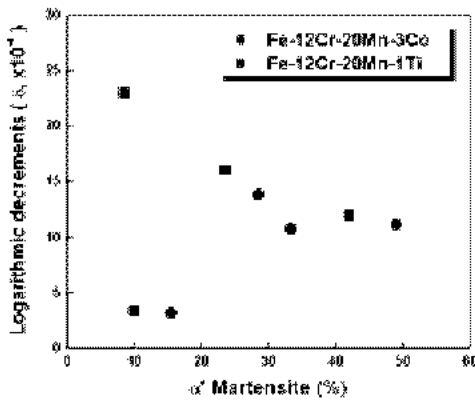


Fig. 7 Effect of volume fraction of α' martensite on the logarithmic decrement in Fe-12Cr-22Mn-X alloys.

Fig. 7은 두 합금의 대수 감쇠율에 미치는 α' 마르텐사이트의 영향을 조사하여 나타낸 것이다 대수 감쇠율과 α' 마르텐사이트 사이에는 비례관계가 성립되지 않고 있음을 알 수 있다.

이상의 결과로 보아 대수 감쇠율은 α' 마르텐사이트에는 큰 영향을 받지 않고 있으며, 주로 ϵ 마르텐사이트에 강하게 지배되고 있음을 알 수 있다⁹⁾.

4. 결 론

Fe-12Cr-22Mn 합금에서 3%의 Co 및 1%의 Ti를 첨가 시킨 합금을 만든 다음, 가공에 의해 미세조직을 변화시킨 후 감쇠능에 미치는 미세조직의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 두 시료 모두 가공에 의해 오스테나이트 조직이 마르텐사이트 조직으로 가공 유기변태 되었다.

또한 가공량의 증가와 함께 α' 마르텐사이트의 양은 증가하지만 ϵ 마르텐사이트의 양은 증가하다 특정 가공량에서 최대값을 나타낸 후 감소하였다.

2. 두 시료 모두 대수 감쇠율은 가공에 의해 오스테나이트 조직이 ϵ 마르텐사이트 조직으로 변태되는데 기인되어 가공량이 증가할수록 증가하다 3%의 Co가 첨가된 시료는 30%에서, 1%의 Ti가 첨가된 시료는 15%에서 최대 값을 나타낸 후 감소하였다.
3. 두 시료 모두 감쇠능은 ϵ 마르텐사이트에 강하게 영향을 받고 있지만 α' 마르텐사이트에는 크게 영향을 받지 않고 있음을 알 수 있다. 또한, 1% Ti가 첨가된 시료가 3% Co가 첨가된 시료보다 더 많은 양의 ϵ 마르텐사이트가 생성되는데 기인되어 대수 감쇠율이 높게 나타났다.

후 기

본 연구는 2000년도 부경대학교에서 지원된 기성회 연구비에 의해 수행된 연구결과의 일부이며 이에 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. K. Sugimoto, 1974, "Recent advances in high damping alloys", *Tesu-to-hagane*, 60, p. 2203.
2. J. H. Jun and C. S. Choi, 1998, "Strain amplitude dependence of the damping capacity in Fe-17%Mn alloy", *Scripta Materialia*, 38, p. 543-549.
3. D.P.Sagra, A.Karimi and J.L.Martin, 1998, "Damping Capacity of Fe-Cr-X High Damping Alloys and Its Dependence on Magnetic Domain Structure", *Scripta materialia*, 39.2, p. 131.
4. D. W. Shoon, C. Y. Kang, K. Miyahara and J. H. Sung, 2004, "Effect of Microstructure on the damping capacity and strength in Fe-Al-Mn alloys", *SAE International*, 1, p. 745.
5. H.Okada, I.S.Kim, C.Y.Kang, H.Sahashi, N.Igota, K.Miyahara, 2004, "Effect of Epsilon Martensite on the Damping on High Strength Fe-Cr-Mn Alloy", *Material science & Engineering. A*, 370, p. 519.

6. 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*, 273-275, p. 538-542.
7. Y. K. Lee, J. H. Jun and C. S. Choi, 1997, "Damping capacity in Fe-Mn binary alloys", *ISIJ International*, 37, p. 1023.
8. H. Okada, Sahashi, N. Igata, K. Miyahara, 2003, "Effect of ϵ -martensite and nitrogen on the damping property of high strength Fe-Cr-Mn alloys", *Journal of Alloys and Compounds*, 335, p. 77.
9. 손동욱, 김재환, 이종문, 김익수, 김한청, 강창룡, 2004, "Fe-Al-Mn 합금의 진동 감쇠능 및 인장 성질에 미치는 미세조직의 영향", *한국동력기계 공학회지*, 8, p. 31.
10. C. Azcoitia and A. Karimi, 2000 "Magneto mechanical damping in Fe-Cr alloys and effect of Al and Mo addition", *Journal of Alloy and Compounds*, 310, p. 160-164.
11. Y. Tomota, M. Strum and J. W. Morris, 1986, "Microstructural dependence of Fe-high Mn tensile behavior", *Metallurgical Transaction A*, 17A, p. 537.
12. J. A. Venables, 1962, "The martensite transformation in stainless steel", *Phil. Mag.*, 7, p. 35.