

Fe-27Mn-4Co-2Al 합금의 감쇠능에 미치는 Si의 영향 The Effect of Si on the Damping Capacity of Fe-27Mn-4Co-2Al Alloy

남기우* · 김범수** · 최병철***†

Ki-Woo Nam*, Beum-Su Kim** and Byoung-Chul Choi***†

(Received 13 January 2021, Revised 9 April 2021, Accepted 12 April 2021)

Abstract : This study investigated the effect of 3%Si on the damping capacity of Fe-27Mn-4Co-2Al alloy. The internal friction was measured with a horizontal internal friction equipment in a vacuum of 10^{-4} torr using a specimen of (120×10×2) mm obtained from cold-rolled material. The degree of cold rolling was made into four types. Martensite was formed with according to the specific direction and surface relief. The amount of α' -martensite increased sharply as the degree of cold rolling increased. However, the amount of ϵ -martensite decreased after reaching the maximum value in a certain range of cold rolling. internal friction was increased, and then decreased with an increasing of degree of cold rolling. Internal friction increased, and then decreased with an increasing of degree of cold rolling. By adding Si, the formation of ϵ -martensite was promoted, but the α' -martensite was not affected. Internal friction increased by adding Si. The increase of internal friction was strongly influenced by the amount of ϵ -martensite by cold rolling. Internal friction of cold rolled alloys were dominated by the α' -martensite.

Key Words : Internal friction, Damping capacity, Cold rolling, Volume friction, Martensite

1. 서 론

소음과 진동은 환경문제와 인적, 물적 손실 등이 발생하기 때문에, 규제가 점점 강화되고 있다. 산업 분야에서는 작업환경의 개선, 고부가가치 상품, 기

기와 설비의 정밀성 장수명화 등을 위해서도 소음과 진동 저감에 대한 요구와 필요성이 크게 높아지고 있다. 또한 우리나라도 지진이 점차 증가하는 추세에 있다. 따라서 소음, 진동 등의 감소 또는 방지,¹⁻⁷⁾ 구조물의 지진대⁸⁻¹⁰⁾ 등 다양한 노력이 활발

***† 최병철(ORCID:https://orcid.org/0000-0003-3553-3539)
: 교수, 한국폴리텍대학 석유화학공정기술교육원 석유화학공정과

E-mail : cbc6971@kopo.ac.kr, Tel : 052-290-9623

*남기우(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-7019-358X) : 교수, 부경대학교 재료공학과, 마린융합디자인공학과

**김범수(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-2252-9250) : 대학원생, 부경대학교 금속공학과

***† Byoung-Chul Choi(ORCID:https://orcid.org/0000-0003-3553-3539)
: Professor, Dept. Energy and Chemical Process, Petro Chemical Training Center of Korea of Korea Polytechnics.

E-mail : cbc6971@kopo.ac.kr, Tel : 052-290-9623

*Ki-Woo Nam(ORCID:https://orcid.org/0000-0001-7019-358X)
: Professor, Dept. Materials Science and Engineering & Dept. Marine Convergence Design Engineering, Pukyong National University.

**Byum-Su Kim(ORCID:https://orcid.org/0000-0002-2252-9250)
: Graduate Student, Dept. Metallurgical Engineering, Pukyong National University.

히 이루어지고 있다.

일반적으로 이용되는 소음과 진동 방지법은 구조 (structure) 형상, 시스템(system) 체계 및 재료 감쇠법(material damping method) 등이 있다. 그러나 시스템과 구조 감쇠법은 감쇠 효과가 적고, 제품의 냉간압연성과 용접성 등이 낮아 공업적 이용 측면에서 제한적이다. 최근, 소음과 진동 발생원에 강도와 냉간압연성 등이 우수하고, 내부마찰이 큰 금속 재료를 직접적으로 적용하는 재료 감쇠법을 적용하려는 연구가 수행되었다.^{2,7,11,12)} 즉, 내부마찰이 큰 재료는 감쇠능이 큰 것을 의미한다.

금속재료는 일반적으로 재료가 가지는 화학조성, 즉, 동일 화학조성이더라도 재료 자체가 갖는 미세조직 등에 따라서 기계적 성질과 내부마찰 등이 다르다.^{3,4)} 제진재료는 강도, 압연성, 제진에 의한 주파수 의존성 및 온도 의존성 등이 낮을수록 유리하다. 그리고 강도가 증가하고 연신율이 줄어들면 내부마찰은 낮아져^{4,11,12)} 감쇠능이 떨어진다. 이와 같은 다양한 성질을 만족하는 강도와 내부마찰이 우수한 제진합금을 개발하는 것은 어렵다. 따라서 강도 및 내부마찰이 우수한 구조 재료로 사용 가능한 제진합금 개발을 위하여 연구가 있지만,^{1,13)} 더욱더 연구가 필요하다.

본 연구에서는 높은 내부마찰과 강도의 조합을 갖는 제진합금 개발을 위하여 수행하였다. 즉, 내부마찰 및 강도가 뛰어난 Fe-27Mn-4Co-2Al 합금⁶⁾과 이 합금에 적층결합 에너지를 높여 내부마찰 효과를 증가시키고, 고용강화에 의한 강도 향상 등을 고려하여 3% Si 첨가된 제진합금을 제작하였다. 그리고 두 합금에서 냉간압연량을 달리하는 냉간압연을 실시하여 미세조직을 변화시키고, 내부마찰을 조사하여 Si의 영향을 조사하였다.

2. 재료 및 실험방법

본 연구에 사용된 Fe-27%Mn-4%Co-2%Al 합금과 3% Si 첨가 합금을 진공용해로에서 용해하여 잉곳을 제작하였다. 여기서 Si는 내부마찰을 높이므로,¹⁴⁾ 비교하기 위하여 3% Si를 첨가하였다. 잉곳은 1,200°C에서 열간압연하여 필요한 두께의 판

Table 1 Chemical composition of specimen (wt.%)

Alloys	C	P	S	Mn	Co	Al	Si	Fe
Fe-Mn-Co-AL	0.04	0.01	0.016	26.5	3.97	2.23	0.05	bal.
Fe-Mn-Co-Al-Si	0.04	0.03	0.018	27.5	4.10	2.18	3.15	bal.

재료 만든 후, 1,050°C에서 60분 유지 후 수냉하는 용체화처리를 하였다. 그리고 산세 후, 냉간 냉간 압연율을 다르게 두께 2 mm 판재로 만들었다. Table 1은 재료의 화학조성을 나타낸다.

합금의 미세조직은 광학현미경으로 관찰하였고, 냉간압연으로 생성되는 마르텐사이트는 주사 및 투과전자현미경으로도 관찰하였다. 이때 TEM (투과전자현미경; JEOL JEM 2010)은 시험편을 약 80 μm 두께로 만든 후, Jet Polishing으로 박막을 만들어, 200 kV 가속전압으로 촬영하였다.

각 재료의 미세조직 체적분율은 X선 회절 시험으로 측정하였다. 회절 시험은 $Mo-K_{\alpha}$ 선을 사용하여, 분당 1°의 속도로 10°에서 80° 사이 영역을 회절 시험하였다. 체적분율은 회절 선도로 얻은 각상의 상대 적분강도 값을 사용하여 구하였다.¹⁵⁾

내부마찰은 냉간압연한 재료로 (120×10×2) mm 크기의 시험편을 제작하여, 10⁻⁴ torr의 진공이 유지된 횡형 내부 마찰 장치로 측정하였다. 측정 방법은 진동 부하 전극과 진동 검출 전극이 시험편에 접촉되지 않게 극세선으로 배열시킨다. 다음 진동 부하 전극으로 강제 진동시킨다. 그 후 자유 감쇠로 감쇠가 끝날 때까지 파형수를 측정하여, 감쇠율 ($\delta = 1/n \cdot \ln A_0/A_n$, n: 파형 수, A₀: 최초파의 진폭, A_n: n번째 파의 진폭)을 구하는 방법이다.¹⁶⁾

3. 결과 및 고찰

3.1 미세조직

Fig. 1은 Fe-27%Mn-4%Co-2%Al 합금과 3% Si 첨가 합금의 미세조직을 광학현미경으로 나타낸 것이다. 오스테나이트 조직의 두 재료는 소량의 쌍정과 마르텐사이트 조직이 존재하는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 광학현미경 사진으로서는 Si 첨가에 따른 미세조직 차이는 확인할 수 없었다.

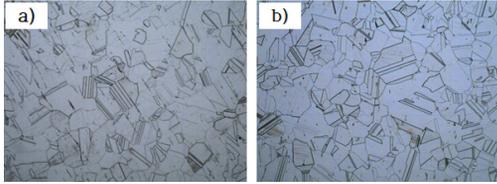


Fig. 1 Optical micrographs of alloys
(a) Fe-27Mn-4Co-2Al, (b) Fe-27Mn-4Co-2Al-3Si

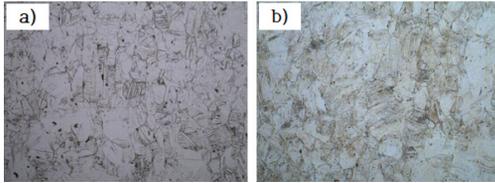


Fig. 2 Optical micrographs showing the effect of Si in 28% cold rolled alloy
(a) Fe-27Mn-4Co-2Al, (b) Fe-27Mn-4Co-2Al-3Si

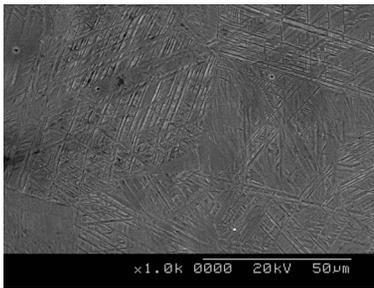


Fig. 3 SEM micrographs showing the deformation induced martensite in Fe-26Mn-4Co-2Al alloy

Fig. 2는 냉간압연한 합금의 미세조직에 미치는 Si 첨가의 영향을 나타낸 것이다. 이것은 용체화처리 후, 약 28% 냉간압연한 두 합금의 미세조직을 나타낸 것이다. 두 합금은 냉간압연으로 오스테나이트 조직에서 마르텐사이트 조직으로 변태(냉간압연유기 마르텐사이트 변태)하였다. 또한 3%Si 첨가 합금은 무첨가 합금에 비하여 냉간압연으로 생성된 마르텐사이트의 양이 약간 많은 경향을 나타내고 있다.

Fig. 3은 냉간압연으로 생성되는 마르텐사이트를 나타낸 것이다. 3% Si 첨가 합금의 미세조직을 주사전자현미경으로 조사하였다. 마르텐사이트는 표면 기복과 방향성을 나타내며, 일부는 서로 교차 생

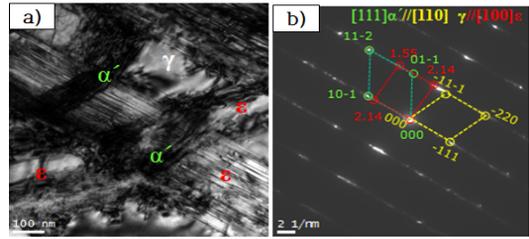


Fig. 4 TEM micrograph showing the α' and ϵ -martensite in 13% cold rolled Fe-27Mn-4Co-2Al alloy. (a) Bright field, (b) SADP and indexing of SADP

성된 것을 확인 할 수 있다.^{4,6)}

오스테나이트 조직이 냉간압연으로 마르텐사이트 조직으로 변태를 일으키는 합금의 내부마찰과 기계적 성질은 냉간압연으로 생성되는 마르텐사이트의 변태 거동과 양으로 크게 달라진다. 이때 생성되는 마르텐사이트가 어떤 결정구조인가에 따라서도 크게 달라진다.^{4,6)} 따라서 냉간압연으로 생성되는 마르텐사이트의 결정구조를 조사하였다.

Fig. 4는 13% 냉간압연한 합금의 미세조직을 투과전자현미경으로 조사하여 나타낸 것이다. (a)는 흑백으로 나타낸 것이고, (b)는 흑백을 제한 시야 회절 패턴과 분석으로 나타내었다. 이 결과로부터 BCT 결정구조의 α' -마르텐사이트와 HCP 결정구조의 ϵ -마르텐사이트는 모두 방향성을 가지고 생성되어 있는 것을 알 수 있다.⁶⁾

3.2 미세조직과 감쇠능에 미치는 냉간압연의 영향

Fig. 5는 냉간압연한 두 종류 합금의 미변태 마르텐사이트 잔류 오스테나이트 양을 나타낸다. 두 합금이 비슷하게 냉간압연량이 증가할수록 잔류 오스테나이트의 양은 빠르게 감소하였다. 이러한 이유는 냉간압연량이 많아질수록 오스테나이트가 α' 및 ϵ -마르텐사이트로 변태되는 양이 많아지기 때문이다. 또한 동일 냉간압연량에서 Si 첨가 합금은 잔류 오스테나이트의 양이 적은 것을 알 수 있다. 따라서 Si 첨가는 오스테나이트가 마르텐사이트로 변태를 잘하는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 냉간압연한 두 합금의 α' -마르텐사이트의

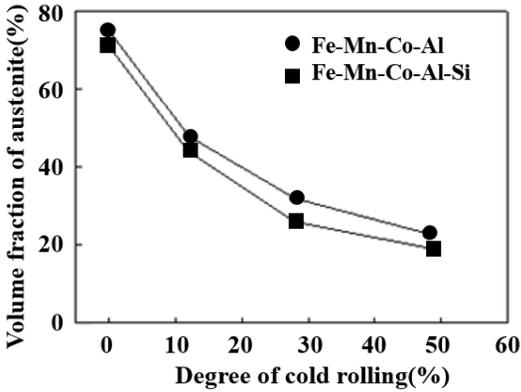


Fig. 5 Effect of Si on the volume fraction of austenite in cold rolled alloys

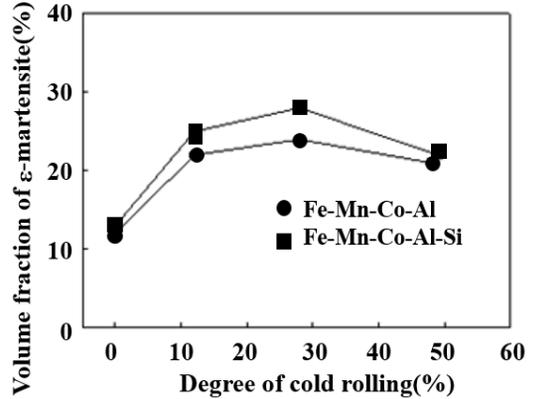


Fig. 7 Effect of Si on the volume fraction of ε-martensite in cold rolled alloys

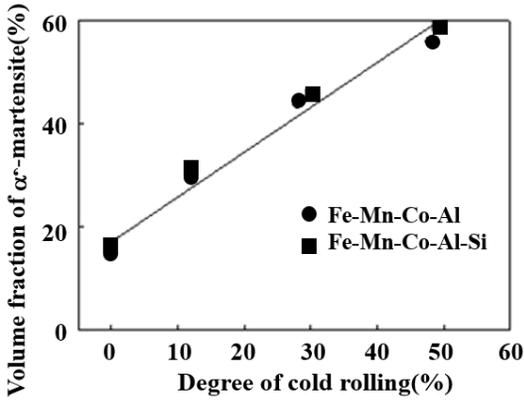


Fig. 6 Effect of Si on the volume fraction of α'-martensite in cold rolled alloys

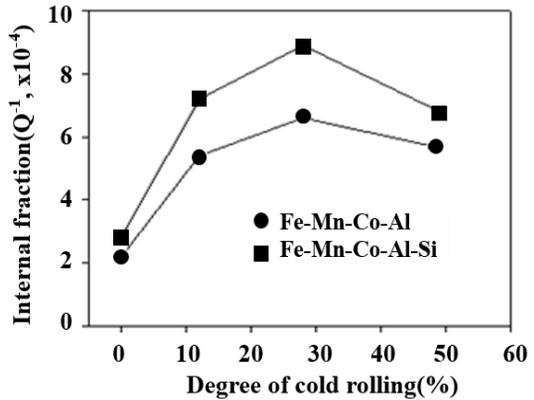


Fig. 8 Effect of Si on the internal friction of cold rolled Fe-27Mn-4Co-2Al alloys

양을 조사하여 나타낸 것이다. 두 합금은 같게 냉간 압연량이 증가함에 따라 α'-마르텐사이트의 체적분율이 증가하는 것을 알 수 있다. 또한 동일 냉간 압연량에서 두 합금이 갖는 α'-마르텐사이트의 양에 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다. 따라서 이로부터 Si 첨가는 냉간압연으로 생성되는 α'-마르텐사이트에 크게 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 냉간압연한 두 합금의 ε-마르텐사이트의 양을 조사하여 나타낸 것이다. 두 합금의 ε-마르텐사이트의 체적분율은 냉간압연량이 증가함에 따라 증가한다. 그러나 ε-마르텐사이트의 체적분율은 냉간압연량 28%에서 Si 무첨가 23.9%, Si 첨가 28.4%로 최대를 나타내고 감소하였다. 이와 같

은 이유는 상온에서 준안정 상태인 오스테나이트 조직에서 냉간압연으로 생성되는 α'-마르텐사이트가 오스테나이트 조직 내 전위 집적 부분 또는 잘 발달된 슬립밴드 등에서 생성되거나, 밴드형상의 ε-마르텐사이트 또는 밴드의 교차점 등에서 생성한다고 알려져 있다.^{16,17)} 본 연구에서도 α'-마르텐사이트가 오스테나이트 내 전위 집적부, 슬립밴드 등에서 생성되지만, ε-마르텐사이트의 밴드 또는 밴드 교차점 등에서도 생성되어 성장한다. 따라서 냉간압연량이 증가함에 따라 ε-마르텐사이트는 증가하다가 감소한다고 판단된다. 한편, 동일 냉간압연량에서 Si 첨가 합금은 냉간압연으로 많은 ε-마르텐사이트 양을 확인할 수 있다. 따라서 이 결과로부터

Si 첨가는 내부마찰에 크게 영향을 미치는 ϵ -마르텐사이트의 생성이 활성화된다는 것을 알 수 있다.

Fig. 8은 냉간압연한 두 합금의 내부마찰을 측정하여 나타낸 것이다. 두 합금은 냉간압연량이 증가함에 따라 내부마찰은 냉간압연량 28%에서 Si 무첨가 6.7, Si 첨가 8.9로 최대를 나타내고, 감소하였다. 이것은 냉간압연량 변화에 따른 ϵ -마르텐사이트의 변화를 나타낸 Fig. 7과 비슷한 것을 알 수 있다. 또한 동일 냉간압연량에서 Si 첨가 합금의 감쇠능이 큰 것을 알 수 있다. 이것으로부터 두 합금의 감쇠능은 냉간압연으로 생성되는 ϵ -마르텐사이트에 크게 영향을 받는다.^{4,6)}

3.3 감쇠능에 미치는 미세조직의 영향

Si 첨가 및 냉간압연량에 따른 α' 및 ϵ -마르텐사이트의 변태거동과 내부마찰은 미세조직에 의존하였다. 따라서 두 합금의 감쇠능에 미치는 미세조직 영향을 조사하였다.

Fig. 9는 냉간압연한 두 합금의 α' -마르텐사이트적분율과 내부마찰의 관계를 나타낸 것이다. 두 합금의 내부마찰은 α' -마르텐사이트의 체적분율이 증가함에 따라 증가하였다. 그러나 Si 무첨가 및 Si 첨가의 내부마찰은 각각 α' -마르텐사이트의 체적분율 43.1% 및 46.6%에서 6.58과 8.85를 나타낸 후, 감소하였다. 따라서 내부마찰은 α' -마르텐사

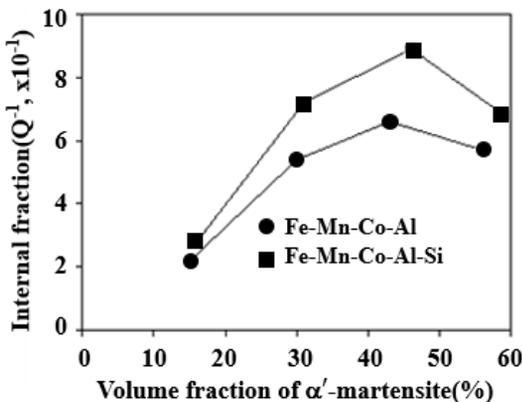


Fig. 9 Effect of Si on the correlation between internal friction and α' -martensite of cold rolled alloys

이트 양과 비례하지 않았다. 따라서 감쇠는 α' -마르텐사이트에 크게 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있다.

Fig. 10은 냉간압연한 두 합금의 내부마찰에 미치는 ϵ -마르텐사이트의 의존성을 나타낸 것이다. α' -마르텐사이트와 다르게 두 합금은 같게 ϵ -마르텐사이트의 양이 증가할수록 내부마찰이 비례적으로 증가하였다. 따라서 두 합금의 감쇠능은 냉간압연으로 생성되는 ϵ -마르텐사이트에 영향을 받는 것을 알 수 있다.

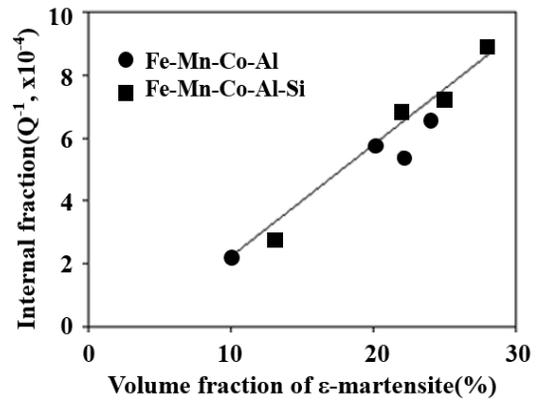


Fig. 10 Effect of Si on the correlation between internal friction and ϵ -martensite of cold rolled alloys

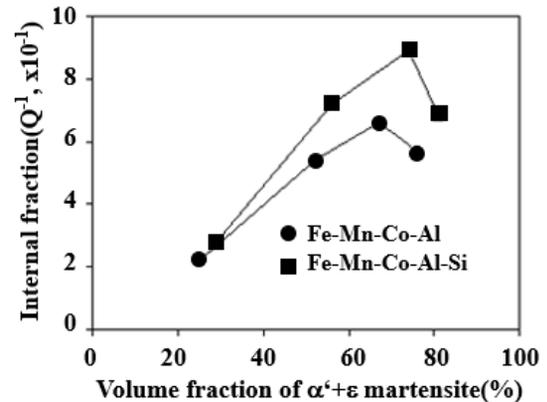


Fig. 11 Effect of Si on the correlation between internal friction and total ($\alpha'+\epsilon$) martensite of cold rolled alloys

냉간압연한 합금의 내부마찰은 α' -마르텐사이트와 비례하지 않았으나, ϵ -마르텐사이트와 비례하였다. 이러한 결과로부터 감쇠는 α' -마르텐사이트보다는 ϵ -마르텐사이트에 크게 영향을 받고 있다는 것을 알 수 있다.¹¹⁾ 이것은 본 연구에 사용된 재료와 같이 냉간압연으로 α' 및 ϵ -마르텐사이트가 생성되는 합금의 감쇠는 주로 오스테나이트 내의 적층결함 경계의 이동으로 일어난다. 또한 오스테나이트와 ϵ -마르텐사이트의 계면이동, ϵ -마르텐사이트 내부 적층결함 경계의 이동 및 ϵ -마르텐사이트 플레이트 내부 계면의 이동 등에 의해서도 일어난다고 알려져 있다.^{6,18)} 그러므로 ϵ -마르텐사이트의 양이 많아질수록 감쇠가 잘 일어난다.

Fig. 11은 냉간압연한 두 합금의 내부마찰에 미치는 전체 마르텐사이트(α' + ϵ -마르텐사이트)의 영향을 나타낸 것이다. Si 무첨가 및 Si 첨가의 내부마찰은 각각 마르텐사이트 체적분을 58.1% 및 74.4%에서 6.53과 8.91을 나타낸 후, 감소하였다. 이와 같은 거동은 Fig. 8에 나타난 냉간압연과 Fig. 9에 나타난 α' -마르텐사이트의 영향의 결과와 비슷한 것을 알 수 있다. 이와 같은 내부마찰의 증가는 냉간압연량이 증가함에 따라 ϵ -마르텐사이트의 양은 증가하다가 감소하지만, α' -마르텐사이트의 양은 계속하여 빠르게 증가하기 때문이라 판단된다.⁶⁾

이상의 결과로 감쇠는 냉간압연으로 생성되는 ϵ -마르텐사이트에 크게 영향을 받지만,¹⁹⁾ 합금에 존재하는 양이 α' -마르텐사이트보다 크게 적기 때문에 양이 많은 α' -마르텐사이트에 지배되는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

Fe-26Mn-4Co-2Al 합금과 3% Si 첨가 합금은 냉간압연량을 다르게 냉간압연하여 미세조직을 변화시켰다. 감쇠에 미치는 Si 영향을 조사한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) α' 및 ϵ -마르텐사이트는 냉간압연으로 표면 기복과 방향성을 띄고 생성되었다.
- 2) 내부마찰은 ϵ -마르텐사이트 양의 증가에 따라서 증가하지만, α' -마르텐사이트 양은 증가하다

가 감소하였다.

- 3) 두 합금의 내부마찰은 냉간압연량이 증가함에 따라 증가하다가 감소하였다.
- 4) Si 첨가는 ϵ -마르텐사이트 생성을 촉진하지만, α' -마르텐사이트의 생성에는 영향을 미치지 않았다. 내부마찰은 Si 첨가로 증가하였다.
- 5) 따라서 감쇠능은 냉간압연으로 생성되는 ϵ -마르텐사이트에 영향을 받지만, 양이 많은 α' -마르텐사이트에 주로 지배를 받는다.

Author contributions

B. C. Choi; Writing-review & editing, B. S. Kim; Investigation, K. W. Nam; Methodology.

References

1. K. Sugimoto, T. Mori and S. Shiode, 1973 "Effect of composition on the internal friction and Young's modulus in γ -phase Mn-Cu alloys", Metal Science Journal, Vol. 7, pp. 103-108. (<https://doi.org/10.1179/030634573790445604>)
2. U. Watanabe, S. Sato, I. Nakagami and S. Nagashima, 1991, "Damping Behavior of Fe-Ni-Mn Alloys", Tetsu-to-Hagane, Vol. 77, No. 2, pp. 306-313.
3. K. K. Lee, W. Y. Jang, S. H. Baik, M. C. Shin and C. S. Choi, 1997, "internal friction in Fe-Mn based alloys", Scripata Materialia, Vol. 37, No. 7, pp. 943-948. ([https://doi.org/10.1016/S1359-6462\(97\)00198-X](https://doi.org/10.1016/S1359-6462(97)00198-X))
4. D. U. Son, J. H. Kim, I. S. Kim, K. Miyahara, J. H. Sung and C. Y. Kang, 2004, "Effect of ϵ Martensite on the internal friction of Austenite Stainless Steel", J. Kor. Inst. Met. & Mater., Vol. 42, No. 8, pp. 621-625.
5. Y. H. Kim, S. H. Lee, S. G. Kim and C. Y. Kang, 2015, "Effect of Retained and Reversed Austenite on the internal friction in High Manganese Stainless Steel", Korean J. Mater.

- Res., Vol. 25, No. 1, pp. 9-15.
(<https://doi.org/10.3740/MRSK.2015.25.1.9>)
6. K. S. Jeong and C. Y. Kang, 2016, "Effect of Deformation Induced Martensite on the internal friction of Fe-26Mn-4Co-2Al Alloy", Korean J. Mater. Res., Vol. 26, 9, pp. 493-497.
(<https://doi.org/10.3740/MRSK.2016.26.9.493>)
 7. K. W. Nam, B. S. Kim, J. W. Kim, D. J. Son and B. C. Choi, 2020, "Internal Friction and Natural Frequency of STS316L Steel according to Degree of Cold Rolling and Different Thickness", Journal of Power System Engineering, Vol. 24, No. 1, pp. 11-17.
(<https://doi.org/10.9726/kspse.2020.24.1.011>)
 8. C. S. Chung, 2009, "Seismic Analysis of the Cooling Water Pump for Nuclear Power Plant for the Seismic Load", Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A, Vol. 33, No. 11, pp. 1239-1243.
(<https://doi.org/10.3795/KSME-A.2009.33.11.1239>)
 9. W. H. Lee, J. R. Cho, M. S. Roh and J. H. Ryu, 2011, "Seismic Analysis of Nuclear Power Equipment Related to Design", Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A, Vol. 35, No. 3, pp. 317-323.
(<https://doi.org/10.3795/KSME-A.2011.35.3.317>)
 10. K. W. Nam, K. S. Lee, Y. J. Tak and G. Y. Kim, 2020, "Elastic Wave Properties of STS316L according to Thickness and Welding Method by Hsu-Nielsen Source", Journal of Power System Engineering, Vol. 24, No. 5, pp. 5-11.
(<https://doi.org/10.9726/kspse.2020.24.5.005>)
 11. M. K. Kwon and C. Y. Kang, 2014, "Correlation between Tensile Properties and internal friction of 316 L Stainless Steel", Korean J. Mater. Res., Vol. 24, No. 1, pp. 1-5.
(<https://doi.org/10.3740/MRSK.2014.24.1.1>)
 12. D. Birchon, D. E. Bromly and D. Healey, 1968, "Mechanism of Energy Dissipation in High-Damping-Capacity Manganese-Copper Alloys," Met. Scie. Journal, Vol. 2, pp. 41-46.
 13. Y. K. Lee, J. H. Jun and C. S. Choi, 1997, "internal friction in Fe-Mn binary alloys", ISIJ international, Vol. 37, No. 10, pp. 1023-1030.
(<https://doi.org/10.2355/ISIJINTERNATIONAL.37.1023>)
 14. C. Y. Kang, Y. M. Son, Y. H. Kim and W. Namgung, 2019, "Effect of Cold Working on the Damping Capacity of Fe-27Mn-4Co-2Al-3Si Damping Alloy", Journal of Power System Engineering, Vol. 23, No. 3, pp. 12-17.
(<http://dx.doi.org/10.9726/kspse.2019.23.3.012>)
 15. R. L. Miller, 1964, "A rapid X-ray method for the determination of retained austenite", Trans. ASM, Vol. 57, pp. 892-899.
 16. A. J. Boger and W. G. Rurgers, 1964, "Partial dislocations on the {110} planes in the BCC lattice and the transition of the FCC into the BCC lattice", Acta Metallurgica, Vol. 12, No. 1, pp. 255-261.
 17. J. A. Venables, 1961, "The martensite transformation in stainless steel," Philosophical Magazine, Vol. 7, pp. 35-44.
 18. C. Y. Kang and J. H. Sung, 1991, "Effect of Deformation Temperature and Manganese Contents on the Tensile Properties of Fe-Cr-Ni-Mn Duplex Stainless Steel", J. of the Kor. Soc. for Heat Treat., Vol. 4, No. 4, pp. 44-52.
 19. K. W. Nam, K. S. Lee and K. Y. Kim, 2020, "Elastic Wave Characteristics of STS316L with Degree of Different Cold Rolling", Journal of Power System Engineering, Vol. 24, No. 4, pp. 11-16. (<https://doi.org/10.9726/kspse.2020.24.4.011>)