

Fe-20Mn-12Cr-3Ni-3Si 합금의 인장성질에 미치는 가공열처리의 영향

한현성* · 강창룡**†

*한국폴리텍대학 대구캠퍼스 산업설비학과, **부경대학교 금속공학과

Effect of Thermo-mechanical Treatment on the Tensile Properties of Fe-20Mn-12Cr-3Ni-3Si Damping Alloy

H. S. Han*, C. Y. Kang**†

*Dep. of Automatic Facilities, Korea Polytechnics College Daegu Campus, Daegu 41765, Korea

**Dept. of Metallurgical Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

Abstract This study was carried out to investigate the effect of thermo-mechanical treatment on the tensile properties of Fe-20Mn-12Cr-3Ni-3Si alloy with deformation induced martensite transformation. α' and ε -martensite, dislocation, stacking fault were formed, and grain size was refined by thermo-mechanical treatment. With the increasing cycle number of thermo-mechanical treatment, volume fraction of ε and α' -martensite, dislocation, stacking fault were increased, and grain size decreased. In 5-cycle number thermo-mechanical treated specimens, more than 10% of the volume fraction of ε -martensite and less than 3% of the volume fraction of α' -martensite were attained. Tensile strength was increased and elongation was decreased with the increasing cycle number of thermo-mechanical treatment. Tensile properties of thermo-mechanical treated alloy with deformation induced martensite transformation was affected to formation of martensite by thermo-mechanical treatment, but was large affected to increasing of dislocation and grain refining.

(Received January 17, 2019; Revised February 15, 2019; Accepted February 22, 2019)

Key words : Damping alloy, Thermo-mechanical treatment, Strength, Elongation, Deformation induced martensite transformation

1. 서 론

소음과 진동은 다양한 형태의 인적 및 물적 손실을 초래하고 있다. 때문에 이에 대한 규제가 갈수록 강화되어가고 있을 뿐만 아니라 생활 및 노동환경의 개선, 기기 또는 장치 등의 안정성과 장수명화 등을 위해서도 소음과 진동의 저, 감에 대한 필요성이 높아지고 있다.

현재 공업적으로 이용되고 있는 소음과 진동방지법은 여러 방법이 있지만 최근에는 가공성과 강도가 높고, 내부마찰계수가 큰 가공유기 마르텐사이트 변태를 일으키는 합금을 소음과 진동원에 적용하여 직접 감쇠하는 재료감쇠(Material damping)법이 그 효과가 우수하고, 설치가 용이하여 강도와 감쇠능의 조합이 우수한 제진합금 개발을 위한 많은 연구가 수

행되어 왔다[1-8].

한편 가공유기 마르텐사이트 변태를 갖는 상온에서 오스테나이트 조직을 갖는 강에서 강도를 높일 수 있는 방법은 가공에 의해 오스테나이트 조직을 마르텐사이트 조직으로 만든 다음 역변태 어닐링처리 하여 초 미세립 오스테나이트 조직으로 만드는 것이 이상적이다[5]. 그러나 가공온도와 양을 달리하는 가공과 가공 한 다음 온도와 시간을 달리하는 어닐링 처리[6] 및 가공과 어닐링처리를 함께하는 가공열처리[7] 등의 방법에 의해 오스테나이트와 마르텐사이트 조직이 함께 존재하는 2상 조직으로 만드는 것도 유용한 방법이다. 그러나 제조방법을 달리하여 2상 조직을 갖는 강을 만들게 되면 오스테나이트와 마르텐사이트 조직의 성상이 달라져 기계적 성질과 감쇠능 등이 달라진[4, 8]. 뿐만 아니라, 가공유기 마르

†Corresponding author. E-mail : metkcy@pknu.ac.kr
Copyright © The Korean Society for Heat Treatment

텐사이트 변태를 갖는 강에서 강도는 주로 가공에 의해 생성되는 α' -마르텐사이트에, 감쇠능은 ϵ -마르텐사이트 지배된다[8]. 따라서 이러한 강에서 제조방법에 따른 미세조직변화와 인장성질을 조사하는 것은 우수한 강도와 감쇠능의 조합을 갖는 제진합금 개발을 위한 자료를 얻기 위해서도 필요하다.

따라서 본 연구는 감쇠능과 강도 등이 우수한 가공유기 마르텐사이트 변태를 나타내는 Fe-Cr-Mn계 합금에서[3] 내식성과 고용강화에 의한 강도 향상 그리고 적층결합 형성에 감쇠능을 높이기 위하여 3%의 Ni와 Si가 첨가된 합금을 설계하고, 이 강에서 강도를 높일 수 있는 한 방법인 가공과 어닐링처리를 병행하는 가공열처리 하여 미세조직변화와 기계적 성질 변화를 조사 하였다.

2. 실험 방법

2.1 시료

Table 1에 나타낸 성분을 갖는 시료는 먼저 고주파 진공용해 후 잉곳으로 제작한 다음 1,200°C에서 열간압연하여 여러 두께의 판재로 만들었다. 다음 1,050°C에서 용체화처리와 산세과정 등을 거쳐 시료로 사용하였다.

2.2 가공열처리

시료의 가공열처리는 먼저 이 종류의 강을 냉간압연 하였을 때 높은 감쇠율을 나타낸 압연율인[3] 18% 압연한 다음, 냉간압연에 의해 생성된 마르텐사이트를 오스테나이트로 역변태 시키기 위하여 700°C에서 20분 유지 후 수냉하는 어닐링처리 하는 가공열처리를 하였다[5, 8]. 또한, 이러한 압연과 어닐링처리를 함께하는 과정을 1 cycle(회)로 하여 최대 5회까지 실시하였고, 가공열처리에는 12.5 mm 사이 여러 두께를 갖는 판재를 사용하여 필요한 사이클수로 가공열처리 후는 동일하게 1 mm가 되도록 하였다.

2.3 미세조직의 관찰

가공열처리 전, 후의 미세조직을 광학현미경과 투과전자현미경(Hitachi, 200 kV) 등으로 관찰하였고, 가공열처리에 따른 각 상의 체적분을 변화는 Cu-K α 특성 X선을 이용한 X-선 회절시험하여 측정하였다[9]. 뿐만 아니라 가공열처리에 의해 변화된 미세조직과 체적분을 변화를 EBSD(Electron Back Scattered Diffraction)를 사용하여 IQ(Imag Quality) map과 Phase map으로도 관찰하였다.

2.4 인장성질 측정

인장성질은 가공열처리 전, 후의 시료로부터 ASTM E-8의 규격을 따라 평행부 길이가 50 mm 크기인 인장시험편으로 제작한 다음 상온에서 cross head speed 를 2 mm/min로 인장시험하여 측정 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 미세조직

Fig. 1은 Fe-20Mn-12Cr-3Ni-3Si 합금의 미세조직을 광학현미경으로 나타낸 것이다. 부분적으로 쌍정들이 존재하고 있는 오스테나이트 조직에 적은 양

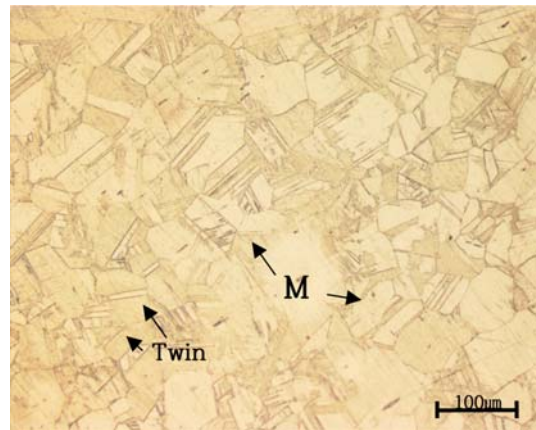


Fig. 1. Optical micrograph of Fe-20Mn-12Cr-3Ni-3Si alloy.

Table 1. Chemical composition of specimen (wt.%)

C	N	P	S	Mn	Cr	Ni	Si	Fe
0.01	0.02	0.001	0.008	20.3	12.08	3.2	3.15	bal.

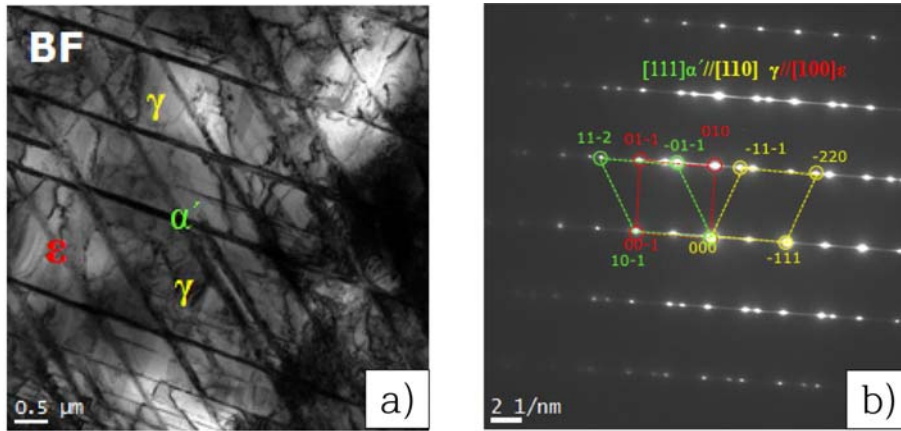


Fig. 2. TEM micrographs of 18% cold rolled Fe-20Mn-12Cr-3Ni-3Si alloy. a) Bright field, b) SADP and indexing of SADP.

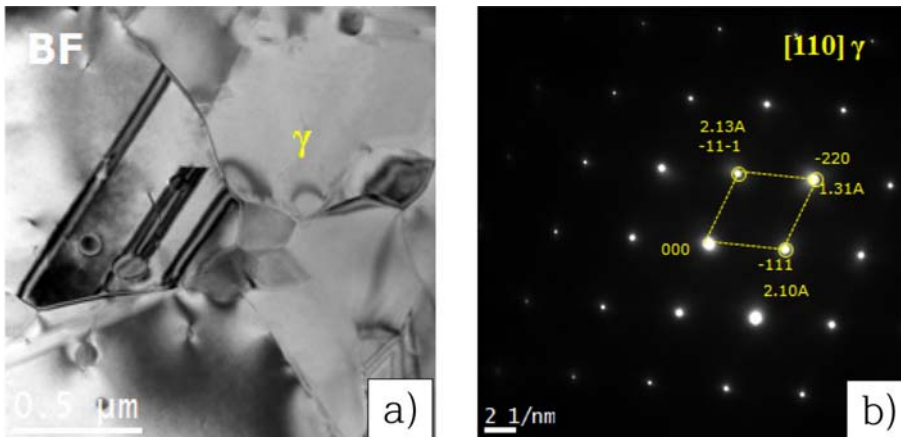


Fig. 3. TEM micrographs of reversed austenite in 18% cold rolled Fe-20Mn-12Cr-3Ni-3Si alloy, after annealing at 700°C for 20 min. a) Bright field, b) SADP and indexing of SADP.

의 마르텐사이트가 존재하고 있는 것을 확인 할 수 있다.

Fig. 2는 가공에 의해 생성되는 마르텐사이트를 결정학적으로 조사하기 위하여 18% 냉간압연한 시료에서 존재하는 마르텐사이트를 투과전자현미경으로 관찰하여 나타낸 것이다. a)는 미세조직의 암시야상을, b)는 암시야상에서 나타낸 상들로부터 얻은 제한시야 회절패턴(DP)과 이를 분석하여 나타낸 것이다. 오스테나이트 조직에 HCP 결정구조의 ϵ -마르텐사이트와 BCT 결정구조를 갖는 α' -마르텐사이트가 함께 존재하고 있는 것을 확인 할 수 있다.

Fig. 3은 18% 냉간압연 한 다음 700°C에서 20분 유지 후 수냉하는 역변태 어닐링처리 한 시료의 미

세조직을 투과전자현미경에 의해 a)는 명시야상으로, b)는 명시야상에서 나타낸 상의 제한시야회절패턴과 이를 분석하여 나타낸 것이다. 결정립의 크기가 결정립 크기가 30 μm 보다 작은 오스테나이트 조직으로 되어 있는 것을 알 수 있다.

3.2 가공열처리에 따른 미세조직변화

Fig. 4는 가공열처리에 따른 미세조직변화를 알아보기 위하여 1회 및 3회 가공열처리한 시료의 미세조직을 투과전자현미경으로 나타낸 것이다. 가공열처리 사이클 수에 관계없이 ϵ -마르텐사이트와 오스테나이트 조직에 가공열처리에 의해 도입된 많은 전위와 적층결함 등이 존재하고 있는 것을 알 수 있다. 또

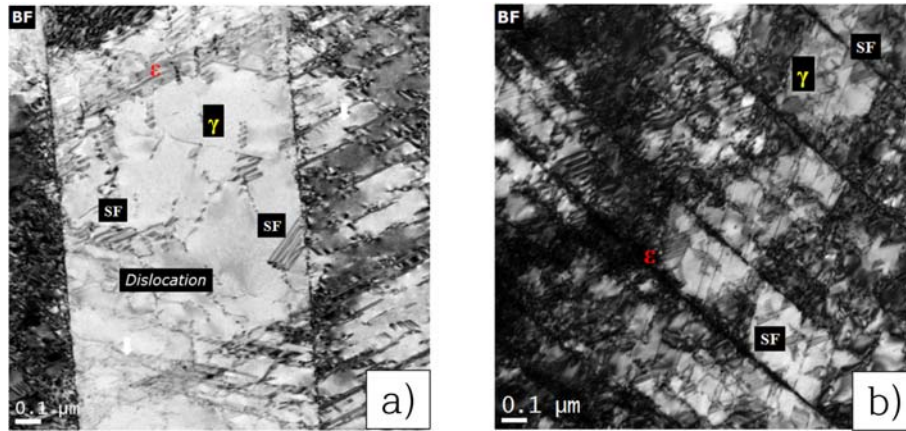


Fig. 4. TEM micrographs of showing the effect of the thermo-mechanical treatment in Fe-20Mn-12Cr-3Ni-3Si alloy. a) 1Cycle, b) 3 Cycle.

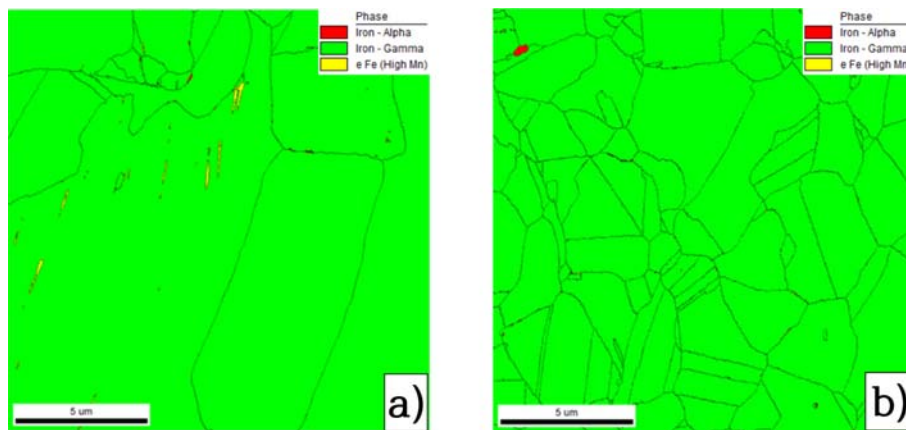


Fig. 5. Phase map showing the effect of cycle number of the thermo - mechanical treatment on the martensite formation in Fe-20Mn-12Cr-3Ni-3Si alloy. a) 1 Cycle, b) 5 Cycle.

한, 가공열처리 사이클 수가 많아질수록 전위와 적층 결함 등의 결함이 많이 도입되는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 가공열처리에 따른 α' 및 ϵ -마르텐사이트의 생성을 보다 상세히 조사하기 위하여 1회, 5회 가공열처리 한 시료에서 존재하는 미세조직들을 EBSD의 Phase map으로 조사하여 나타낸 것이다. 1회 가공열처리 한 사진 a)에서는 오스테나이트 상과 ϵ -마르텐사이트(노란색)가 관찰되고 α' -마르텐사이트는 관찰되지 않는데 반하여, 5회 가공열처리 한 시료에서는 오스테나이트에 적은양의 ϵ -파르텐사이트와 α' -마르텐사이트(붉은색)가 함께 존재하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 가공열처리 사이클 수가 많아지면 α' 및 ϵ -마르텐사이트가 모두 생성되는 것을 확

인 할 수 있고, 결정립 크기가 적어지는 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 가공열처리에 따른 미세조직 변화를 정량적으로 조사하기 위하여 사이클 수를 달리하여 가공열처리 한 시료에서 존재하는 각 상의 체적분율 변화를 양이 많은 오스테나이트와 ϵ -마르텐사이트는 X-회절시험으로, 양이적어 검출이 어려운 α' -마르텐사이트는 EBSD의 Phase map으로 조사하여 나타낸 것이다. 사이클 수가 증가함에 따라 오스테나이트는 감소다 약간 증가하는데 반하여, ϵ -마르텐사이트는 증가하다 5사이클이 되면 약간 감소하는 것을 알 수 있다[10]. 또한 α' -마르텐사이트는 원시료와 1회 가공열처리한 시료에서는 검출되지 않지만 가공열처리

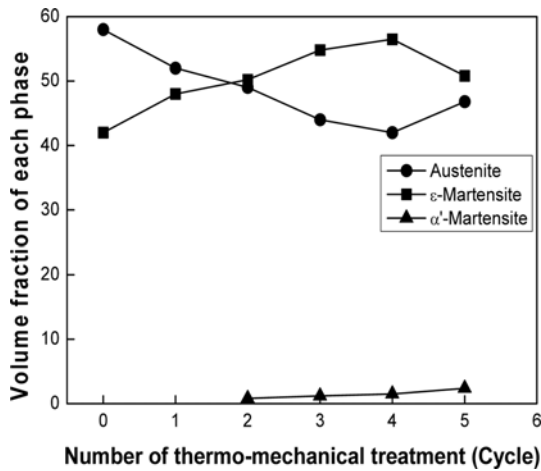


Fig. 6. Effect of cycle number of the thermo-mechanical treatment on the volume fraction of each phase in Fe-20Mn-12Cr-3Ni-3Si alloy.

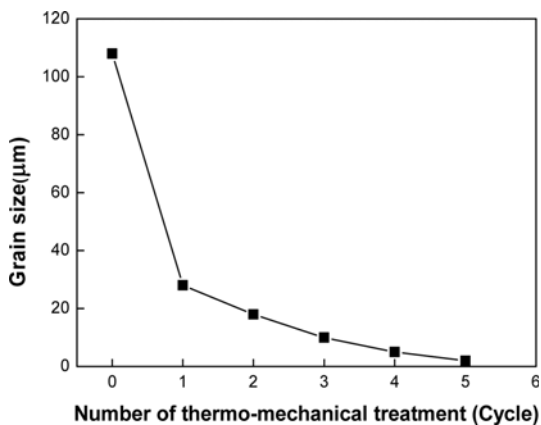


Fig. 7. Effect of cycle number of thermo-mechanical treatment on the grain size of Fe-20Mn-12Cr-3Ni-3Si alloy.

사이클수가 2회 이상이 되면 대단히 적은 양이 검출되기 시작하고, 이후 가공열처리 사이클 수가 증가함에 따라 서서히 증가하는 것을 알 수 있다. 뿐만 아니라 5회 가공열처리한 시료에서 존재하는 ε-마르텐사이트의 양은 약 50% 정도인데 반하여 α'-마르텐사이트의 양은 3% 이하로 조사되었다.

한편 Fig. 4의 TEM 관찰결과와 6의 회절시험결과에서는 α'-마르텐사이트가 검출되지 않았지만, Fig. 5의 Phase map 에서는 적은 양의 α'-마르텐사이트가 검출되고 있는데 이는 EBSD 방법이 XRD 방법 등에 비하여 α'-마르텐사이트의 측정감도가 상대적으로

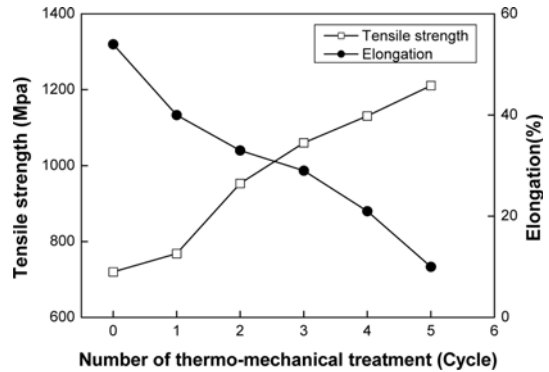


Fig. 8. Effect of cycle number of the thermo-mechanical treatment on tensile properties of Fe-20Mn-12Cr-3Ni-3Si alloy.

로 우수하였기 때문이다[7].

Fig. 7은 가공열처리가 결정립크기에 미치는 영향을 알아보기 위하여 사이클수를 달리하여 가공열처리한 시료의 결정립크기를 조사하여 나타난 것이다. 가공열처리하면 오스테나이트의 결정립크기가 크게 작아지고 또한 가공열처리 사이클 수가 증가함에 따라 결정립크기가 서서히 감소하는 것을 알 수 있고, 5회 가공열처리 한 시료에서 평균 결정립크기는 5 μm보다 적은 것을 알 수 있다.

3.3 인장성질에 미치는 가공열처리의 영향

Fig. 8은 사이클 수를 달리하여 가공열처리한 시료의 인장성질을 조사하여 나타난 것이다. 가공열처리 사이클 수가 증가함에 빠르게 인장강도는 증가하고, 연신율은 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 이러한 이유는 Fig. 4-7 등에서 알 수 있는 바와 같이 가공열처리에 의해 오스테나이트조직이 자신보다 강한 마르텐사이트 조직으로 변태되고, 전위등과 같은 결함이 도입되고 있을 뿐만 아니라 결정립크기가 작아지기 때문이다[7, 11].

일반적으로 상온에서 오스테나이트 조직을 갖는 강을 가공하거나 가공열처리하면 α' 및 ε-마르텐사이트가 모두 생성되고 이때 생성되는 α'-마르텐사이트는 인장성질에, ε-마르텐사이트는 감쇠능에 크게 영향을 미치게 된다[7, 8]. 본 연구에서도 α' 및 ε-마르텐사이트가 모두 생성되고 또한 생성되는 거동이 달라지는 것을 알 수 있다. 따라서 인장성질에 미치는 가공열처리에 의해 생성된 마르텐사이트의 영향을 조사하였다.

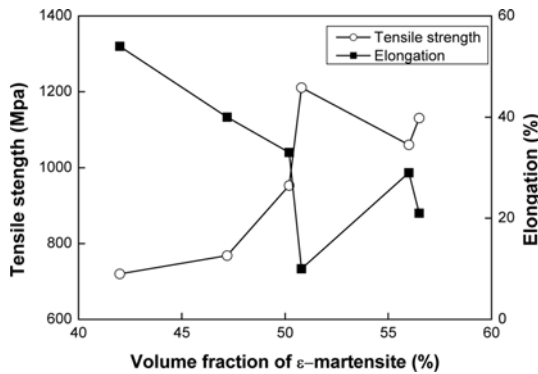


Fig. 9. Effect of volume fraction of ϵ -martensite on the tensile properties of thermo-mechanical treated Fe-20Mn-12Cr-3Ni-3Si alloy.

Fig. 9는 가공열처리한 시료의 인장성질에 미치는 가공열처리에 의해 생성된 ϵ -마르텐사이트의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. ϵ -마르텐사이트의 양이 증가함에 따라 인장강도는 증가하다 감소한 다음 다시 증가하는데 반하여, 연신율은 감소하다 증가한 다음 다시 감소하고 있는 것을 알 수 있다. 따라서 인장성질은 가공에 의해 생성되는 ϵ 와 비례관계를 나타 내지 않는 것을 알 수 있다.

Fig. 10은 가공열처리한 시료의 인장성질에 미치는 가공열처리에 의해 생성된 전체 마르텐사이트의 영향을 조사하기 위하여 사이클 수를 달리하여 가공열처리 한 시료의 감쇠능과 가공열처리에 의해 생성된 ϵ 및 α' -마르텐사이트를 더한 전체 마르텐사이트 양과의 관계를 조사하여 나타낸 것이다. 전체 마르텐사이트의 양이 증가함에 따라 인장강도는 증가하다 감소한 다음 다시 증가하는데 반하여, 연신율은 감소하다 증가한 다음 다시 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 이와 같이 마르텐사이트 양이 증가함에 따라 인장강도가 증가하다 감소한 다음 증가하고, 연신율이 감소하다 증가한 다음 다시 감소하는 이유는 Fig. 6과 8의 결과로부터 알 수 있는 바와 같이 가공열처리 사이클 수가 증가함에 따라 강도는 증가하고 연신율은 감소하는데 반하여 전체 마르텐사이트의 양은 증가하다 감소하기 때문이라 판단된다. 뿐만 아니라 이러한 결과로부터 인장성질은 가공열처리에 의해 생성되는 마르텐사이트에 영향을 받지만[7], 가공열처리에 의해 생성되는 전위 등과 같은 결함과 결정립의 크기가 작아지는데도 크게 영향을 받고 있다는 것을

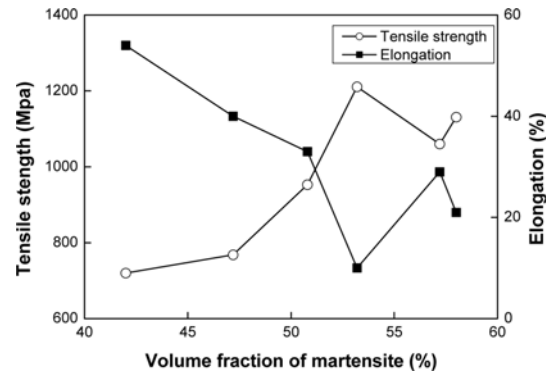


Fig. 10. Effect of volume fraction of martensite on the tensile properties of thermo-mechanical treated Fe-20Mn-12Cr-3Ni-3Si alloy.

알 수 있다[7, 11]. 뿐만 아니라 인장성질에 미치는 전체 마르텐사이트의 영향이 ϵ -마르텐사이트의 영향을 나타낸 Fig. 9의 결과와 같은 것을 알 수 있고, 이와 같은 이유는 가공열처리에 의해 α' 및 ϵ -마르텐사이트가 모두 생성되고 있지만, Fig. 6 등의 결과에서 알 수 있듯이 가공열처리에 의해 생성되는 α' -마르텐사이트는 3% 이하로 적는데 반하여, ϵ -마르텐사이트는 10% 이상으로 많고 또한 가공열처리한 시료에서 존재하는 ϵ -마르텐사이트의 양이 45%에서 55% 이상으로 많다. 때문에 양이 대단히 적은 α' -마르텐사이트에는 크게 영향을 받지 못하지만, 양이 많은 ϵ -마르텐사이트에는 크게 영향을 받기 때문이라 판단된다. 한편, 인장성질에 α' -마르텐사이트의 영향은 생성되는 양이 적어 조사하지 않았다.

4. 결 론

가공유기 마르텐사이트 변태를 갖는 Fe-26Mn-12Cr-3Ni-3Si 합금의 인장성질에 미치는 가공열처리의 영향을 조사한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다

1. 가공열처리에 의해 α' 및 ϵ -마르텐사이트, 전위, 적층결함 등이 생성되었고, 결정립 크기가 작아졌다.
2. 가공열처리 사이클 수가 증가 할수록 ϵ -마르텐사이트의 양은 증가하다 감소하는데 반하여, 전위, 적층결함, α' -마르텐사이트는 서서히 증가하고, 결정립크기도 작아졌다.
3. 5회 가공열처리한 시료에서 생성된 α' -마르텐사이트의 양은 3% 보다 적고, ϵ -마르텐사이트는 10%

보다 많았다.

4. 가공열처리 사이클 수가 증가함에 따라 인장강도는 증가하고, 연신율은 감소하였다.

5. 가공열처리한 제진합금의 인장성질은 가공열처리에 의해 생성되는 ϵ -마르텐사이트에도 영향을 받지만, 전위 결정립크기의 미세화에도 크게 영향을 받았다.

References

1. V. V. Bilzok, N. I. Glavatska, O. Soderberg, V. K. Lindroos : *Mat. Sci. and Eng., A* **338** (2002) 213.
2. J. H. Jun, T. J. Ha, C. S. Choi : *Scripta mater.* **43** (2000) 603.
3. H. Sahashi, I. S. Kim, C. Y. Kang, N. Igata, K. Miyahara : *Kinzoku*, **74** (2004) 250.
4. T. H. Hwang and C. Y. Kang : *Kor. J. Met. Mater*, **50** (2013) 645.
5. Y. H. Kim, Y. S. Ahn, H. Y. Jeong, C. Y. Kang, B. H. Jeong, C. G. Kim : *J. Kor. Inst. Met & Mater.* **33** (1995) 42.
6. Y. H. Kim, Y. S. Ahn, H. Y. Jeong, C. Y. Kang, B. H. Jeong, C. Y. Kim : *J. Kor. Inst. Met & Mater*, **33** (1995) 1431.
7. J. S. Kim, J. N. Kim, C. Y. Kang : *Korean J. of Met. Mater.* **56** (2018) 265.
8. D. W. Soon, J. W. Kim, I. S. Kim, K. Miyahara, J. H. Sung, C. Y. Kang : *J. Kor. Inst. Met. & Mater*, **42** (2004) 621.
9. R. L. Miller : *Trans. ASM* **57** (1964) 892.
10. G. H. Kim, Y. Nishimuro, Y. Watanabe, H. Sato, Y. Nishino, H. R. Jung, C. Y. Kang, I. S. Kim : *Mater. Sci. Eng. A*, **521** (2009) 368.
11. K. S. Jeong, D. H. Kim, S. D. Kweon, C. Y. Kang : *Korean J. of Mat. Research*, **26** (2018) 129.