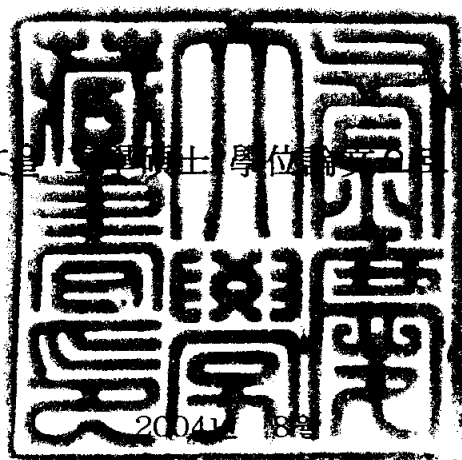


공학석사 학위논문

Fe-Cr-Mn 합금의 진동감쇠능에
미치는 서브제로처리 및
질소 첨가의 영향

지도교수 강 창 룡

이 論文을 工学碩士學位論文으로 提出함



부경대학교 일반대학원

금속공학과

이 원 희

이원희의 공학석사 학위논문을 인준함

2004년 6월

주 심 공학박사 김 무 길 

위 원 공학박사 김 한 군 

위 원 공학박사 강 창 룡 

<목 차>

Abstract	1
1. 서론	3
2. 실험방법	7
2.1 시료	7
2.2 시료의 서브제로 처리	7
2.3 미세조직 관찰	9
2.4 X선 회절 시험	9
2.5 감쇠능 측정	10
3. 실험결과 및 고찰	13
3.1 미세조직 변화	13
3.2 감쇠능에 미치는 미세조직의 영향	21
3.3 감쇠능에 미치는 N 첨가의 영향	32
3.4 감쇠능에 미치는 서브제로 처리의 영향	35
4. 결 론	43
참고 문헌	45

**Effect of Sub-zero Treatment and N Addition
on the Damping Capacity of
Fe-Cr-Mn Alloy**

Won Hui Lee

Department of Metallurgical Engineering,
Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

The effect of sub zero treatment and nitrogen addition on the on the damping capacity has been investigated after change the microstructure by treating cold working, the sub-zero treatment after cold working, manganese and nitrogen addition in Fe-12Cr-XMn alloy.

The results obtained from this study as follows:

Austenite phase was deformation induced transformed into martensite and with increasing the degree of cold work, volume fraction of ϵ martensite was increased.

Damping capacity showed the maximum value due to the obtained the highest value of volume fraction of ϵ martensite at degree of 30% cold work and contents of 22% manganese.

With increasing the nitrogen contents, damping capacity decreased by decreasing volume fraction of ϵ martensite due to the increment in the stability of austenite phase.

Volume fraction of ϵ martensite increased by sub-zero treatment. so that, damping capacity increased, the effect of sub-zero treatment showed the high value with increasing the degree of cold work. while, the effect of sub-zero treatment was not in nitrogen addition specimens by increased with increasing the stability of austenite phase.

With decreasing the temperature of sub zero treatment, damping capacity increased due to the increment in the volume fraction of ϵ martensite.

1. 서 론

과학기술의 발전에 기인된 산업문명의 고도화는 인간들의 생활을 보다 편리하게 하였을 뿐만 아니라 풍요를 누릴 수 있게 하였지만, 이에 기인되어 발생하는 부산물은 다양한 형태의 공해로서 자연환경을 위협해 오고 있으며, 동시에 많은 인적 및 물적 손실을 초래하고 있다. 이러한 공해 중 소음과 진동은 인간에게 심리적 불안감 및 난청 등과 같은 질병을 유발시키고 있을 뿐만 아니라, 정밀기계의 정밀도 저하 및 수송기기 등의 부품 조기 피로 파괴 등과 같은 많은 문제를 야기 시키고 있다^{1) 5)}. 때문에 소음과 진동에 관한 사회적 관심이 고조되어 가면서 이에 대한 법적 규제도 점차 강화되어 가고 있고, 노동환경의 개선뿐만 아니라 상품의 고부가가치화 등을 위해서도 정밀기계, 수송기기, 가전기기류 등의 저 소음, 저 진동화가 불가결한 과제로 대두되고 있다. 따라서 최근에는 소음과 진동을 방지하기 위한 유용한 방법을 개발하기 위해 부단한 연구와 노력이 진행되고 있다^{1) 12)}.

지금까지 이용되고 있는 소음과 진동을 방지하기 위한 방법으로는 크게 소음과 진동이 발생하는 곳에 오일댐퍼나 에어댐퍼 등을 부착하거나, 또는 금속재료와 재료사이에 점탄성 고분자 재료를 끼워 넣거나, 사용기계의 중량을 높이거나, 힘을 가하여 소음과 진동을 줄이는 설계에 의한 비교적 소극적인 방법으로 알려진 system damping법 및 structural damping법과, 소음과 진동원이 되는 곳에 감쇠능이 큰 재료를 사용함으로써 소음과 진동을 근원적으로 소멸시키는 재료개선에 의한 적극적인 방법인 material damping법 등이 있다. 이 중 재료 그 자체가 소음과 진동을 흡수하게 하는 material damping법은 그

재료가 지니고 있는 내부마찰을 이용하는 방법으로써 높은 내부마찰을 갖는 금속재료를 소음과 진동원에 적용함으로써 소음과 진동을 방지하기 때문에 그 효과가 대단히 큰 방법으로 알려져 있다. 따라서 최근에는 세 특성이 우수한 제진 합금을 개발하여 소음과 진동원에 적용하기 위한 연구가^{2, 12)} 활발히 진행되고 있다.

소음이나 진동의 제어는 단순히 쾌적한 생활환경을 얻기 위해서 뿐만 아니라 만약 진동을 제어하는 것이 가능하다고 한다면 공진에 의한 파괴나 피로 파괴(fatigue failure) 등을 방지하는 것이 가능하여 부품의 수명 연장을 도모할 수 있고, 나아가 진동을 억제함에 의해 정밀 공작기계장치의 가공정밀도를 비약적으로 향상시키는 것 또한 가능하다^{1,2)}.

금속재료 뿐 만아니라 실제 대부분의 재료들은 소재 내부에서 진동에너지를 소모하는 성질이 있는데, 이것을 내부마찰(internal friction)이라고 부르며, 내부마찰은 재료의 종류에 따라 다르기 때문에 진동에너지를 흡수하는 능력 또한 재료마다 달라진다.

제진재료는 감쇠능이 큰 합금, 즉 진동에너지를 흡수하는 능력이 큰 합금으로서 재료의 내부마찰을 그 기구로 분류해 볼 때 복합형(compound type), 강자성형(ferro-magnetism type), 전위형(dislocation type) 및 쌍정형(twin type) 등 크게 4가지로 분류할 수 있다^{3, 4)}.

일반적으로 제진재료에 있어서 요구되는 특성으로서는 기계적 강도, 가공성, 내식성 등은 물론 제진에 의한 주파수 의존성, 변형 의존성, 온도 의존성 혹은 시효성 등이 적을수록 유리하다고 알려져 있다⁵⁾. 그러나 이러한 모든 성질을 동시에 만족시키는 재료의 개발은 대단히 곤란하다.

와타나베 등⁶⁾은 예비변형을 첨가한 Mn Ni계가 금속으로서 우수한 감쇠능을 나타내고 있다는 것을 최초로 보고 하였을 뿐만 아니라, 그들의 보고에 따르면 실온에서 예비변형의 양을 증가시키면 강은 예비변형 양의 증가와 함께 내부마찰이 현저하게 증가 한다고 하였다. 뿐만 아니라 이때 내부마찰이 증가되는 기구(제진)는 오스테나이트상중의 격자결함(확장전위)에 기인되는 에너지의 손실이라고 제안했다. 그러나 이 재료내 존재하고 있는 ϵ 마르텐사이트상이 진동 감쇠능에 크게 영향을 미칠 것으로 예상되지만 공존하는 ϵ 마르텐사이트상이 진동 감쇠능에 미치는 영향에 대해서는 규명되지 않고 있다. 뿐만 아니라, 최근 Kang 등¹³⁾에 의하면 용체화 처리 하거나, 또는 가공 및 퀴칭한 재료 내에서 ϵ 마르텐사이트상이 존재하면 ϵ 마르텐사이트상은 그 재료의 감쇠능에 크게 영향을 미친다고 보고 한 바가 있다. 따라서 ϵ 마르텐사이트조직이 존재하고 있는 재료에서 감쇠능에 미치는 ϵ 마르텐사이트 조직의 영향을 정량적으로 규명할 필요가 있다.

본 연구는 이러한 측면을 고려하여 ϵ 마르텐사이트 조직이 감쇠능에 미치는 영향을 정량적으로 규명함으로서 제 특성이 우수한 제진 합금을 설계하는데 필요한 자료를 얻기 위하여 수행하였다. 즉, 가공유기 생성되는 ϵ 마르텐사이트상이 진동감쇠능에 크게 영향을 미치고 있는 점^{13,14)}을 고려하여 오스테나이트 조직이 가공에 의해 마르텐사이트 조직으로 변태되는 상온에서 준안정 오스테나이트조직을 갖는 Fe-12%Cr 22%Mn의 화학조성을 갖는 강을 기본으로 하고, 여기에서 Mn이 ϵ 마르텐사이트 조직의 생성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 Mn이 12% 및 30%가 첨가된 시료와, 침입형 원소인 N가 ϵ 마르텐사이트 조직의 생성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 Fe 12%Cr-22%Mn의 화

학조성에서 질소의 함량이 다른 여러 시료를 만든 다음 이들 시료에서 냉간 압연율을 달리하는 압연에 의해 미세조직을 변화시킨 다음, 미세조직 변화에 따른 감쇠능 변화를 조사하고 아울러 심랭처리를 실시하여 심랭처리에 따른 미세조직변화와 감쇠능 변화를 함께 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 시료

본 실험에 사용된 시료는 전해철, Fe-Cr, Fe-Mn 과 질화물 등을 사용하여 고주파 용해로에서 Mn의 함량을 달리한 시료와 동일 Mn 함량에서 질소의 첨가량을 달리한 시료를 용해작업 한 다음 소정 크기의 잉곳을 얻은 다음 이를 열간 압연하여 15mm판재의 두께로 압연 하였다. 이를 산세 등의 과정을 거쳐 최종 냉간압연 율이 0, 15, 30, 50%가 될 수 있도록 소정두께로 압연 후 이를 진공열처리로를 사용하여 1050℃에서 30분유지 후 수냉 하는 용체화 처리를 실시하였다. 이를 냉간 압연에 의해 모든 시료의 두께가 1mm가 되게 압연 하여 각 종 시료로 사용하였고, 이때 사용된 시료의 최종 화학조성을 Table. 1에 나타낸다.

2.2 시료의 서브제로 처리

상온에서 준안정 오스테나이트 조직을 갖는 강의 감쇠능은 그 재료가 갖는 미세조직에 따라 크게 달라지며, 이 재료의 미세조직은 가공에 의해서도 달라질 뿐만 아니라 서브제로처리에 의해서도 크게 달라진다, 따라서 미세조직을 달리하기 위한 서브제로처리는 상온에서 50% 압연을 실시한 다음 이를 5℃에서 2주, -50℃ 및 -196℃에서 3시간 유지하는 서브제로처리를 하였다. 이때

Table.1 Chemical composition of the materials used.(wt%)

Materials	Cr	Mn	Si	C	N	P	S	Fe
12Mn	12.54	11.29	0.03	0.013	0.15	0.001	0.002	bal.
22Mn	12.01	22.97	0.04	0.005	0.009	0.001	0.007	bal.
22Mn-1	12.06	22.85	0.04	0.009	0.014	0.001	0.008	bal.
22Mn-2	12.05	22.91	0.05	0.004	0.016	0.001	0.008	bal.
22Mn-3	12.05	22.75	0.04	0.008	0.026	0.001	0.008	bal.
22Mn-4	12.07	22.88	0.04	0.009	0.039	0.001	0.006	bal.
22Mn-5	11.85	23.05	0.04	0.009	0.13	0.002	0.003	bal.
30Mn	11.98	30.32	0.06	0.012	0.071	0.002	0.004	bal.

시브제로처리는 5℃ 및 -50℃의 온도에서는 메칠 알콜과 드라이아이스를 이용하여 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 이내로 조절하였고, 196℃는 액체 질소를 이용하였다.

2.3 미세조직 관찰

용체화 처리한 시료 및 질소의 첨가량 변화에 따른 미세조직의 변화와 가공량을 달리하는 냉간압연에 따른 시료의 미세조직변화를 광학현미경에 의해 관찰하였다. 또한 감쇠능에 크게 영향을 미치는 것으로 알려진 ε 마르텐사이트 상의 보다 상세한 관찰은 냉간 가공이 끝난 시료를 박막으로 만든 다음 투과 전자 현미경(Hitach, 200kV)으로 관찰 하였다.

2.4 X선 회절 시험

첨가된 합금원소인 질소와 망간의 변화 및 압연 율 변화에 따른 미세조직의 정량적 변화를 측정하기 위한 X선 회절 시험은 Cu-K α 의 특성 X선을 이용하여 1°/min의 속도로 회절 시험하여 얻은 X선 회절 선도로 부터 (111) ν , (10.1) ε 및 (200) α' 에 해당되는 회절 피크의 상대 적분강도 값을 이용하여 α' 마르텐사이트 및 ε 마르텐사이트 상과 오스테나이트 상의 체적분율을 측정하였다.

2.5 감쇠능 측정

합금원소인 Mn 및 N의 변화와 압연 율 변화에 따른 감쇠능의 변화를 조사하기 위한 감쇠능 측정은 횡 형 내부마찰 측정 장치(진공이화, IFT 1500)를 이용하여 대수감쇠 율을 측정하는 방법으로 측정 하였다. 이 실험은 진동을 가하는 전극과 진동을 검출하는 전극위에 시료를 2개의 평행한 세선으로 전극에 접촉되지 않게 배열 한 다음 진동을 가하는 전극으로 강제 진동시킨 후 자유 감쇠 시켜 감쇠 할 때까지의 파수를 측정하여 대수감쇠율($\delta=1/n \ln A_0/A_n$, n : 파수, A_0 : 최초파의 진폭, A_n : n 번째 파의 진폭) 측정하는 방법으로 측정 하였으며, 이때 사용된 감쇠능을 측정하기 위한 장치의 개략도를 Fig. 1에 나타내었다.

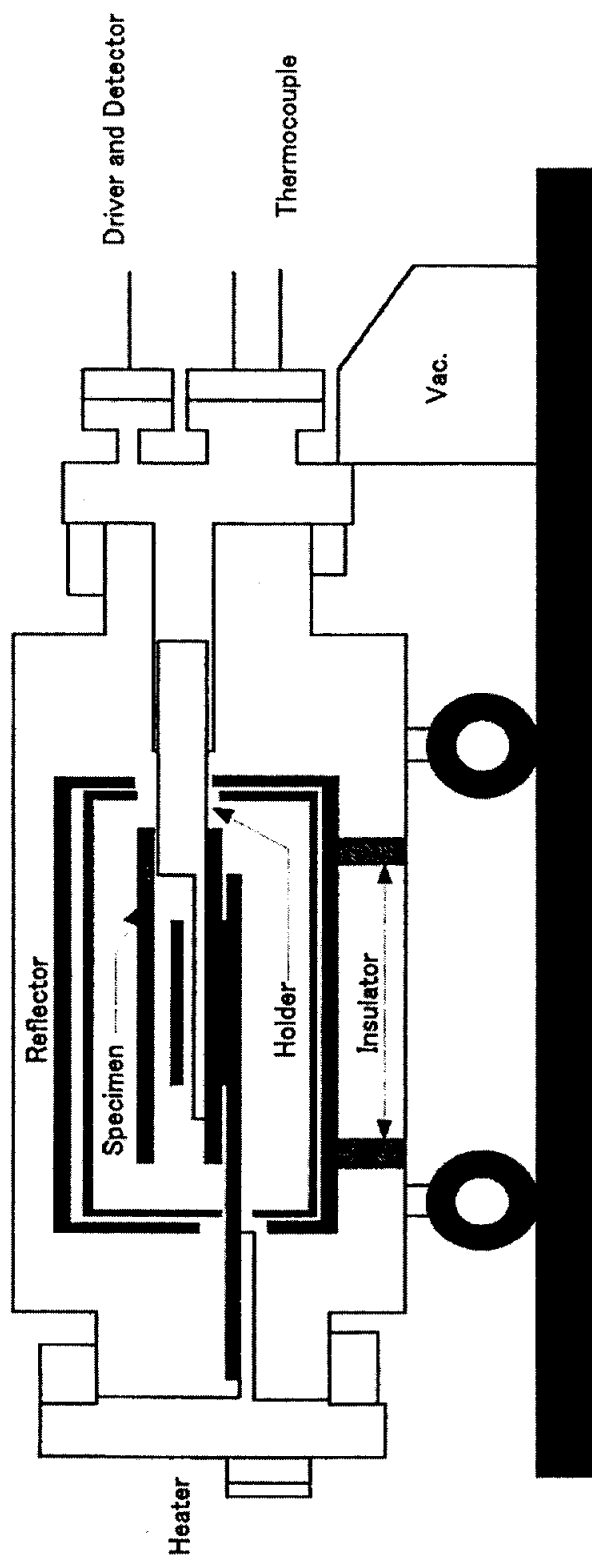


Fig.1 Schematic drawing of vacuum chamber unit for measurement equipment of damping capacity.

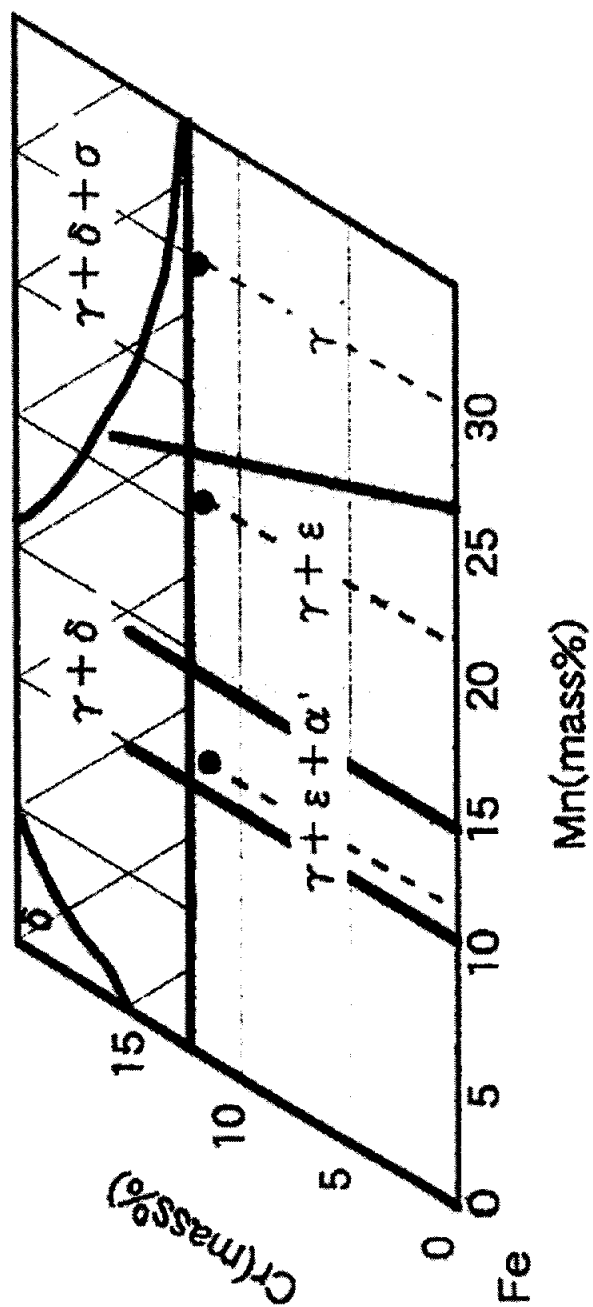


Fig.2 Ternary phase diagram of Fe-Cr-Mn alloy system after the solution treatment at 1000°C followed by rapid cooling¹⁴⁾.

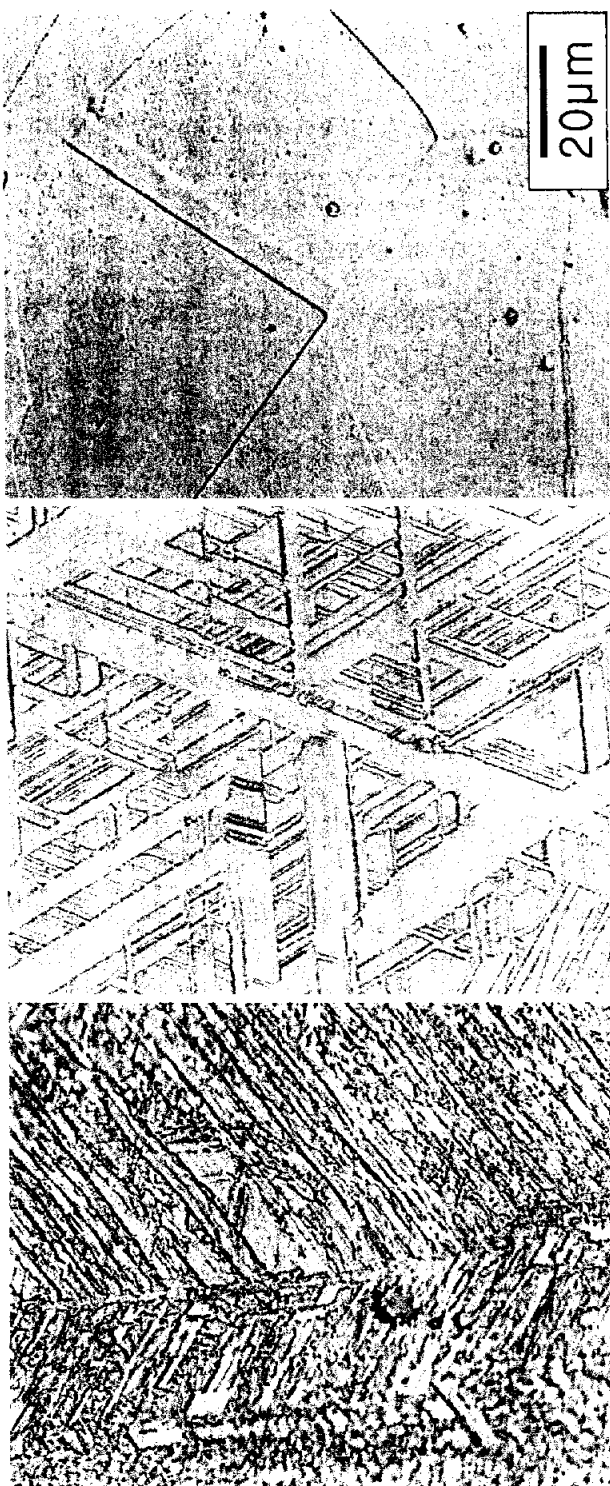
3. 실험결과 및 고찰

3.1 미세조직관찰

Fig. 1은 본 실험에 사용된 Table. 1과 같은 화학조성을 갖는 시료의 상태를 나타낸 것이다. 이 상태에서 알 수 있는 바와 같이 Fe 12%Cr에 12%의 Mn을 갖는 시료는 오스테나이트의 기지조직에 ϵ 마르텐사이트 및 α' 마르텐사이트 조직이 공존하고 있는 영역이고, 22%의 Mn이 첨가된 시료는 오스테나이트의 기지 조직에 ϵ 마르텐사이트 조직이 공존하고 있는 영역이며, 30%의 Mn이 첨가된 시료 오스테나이트의 단상 영역임을 알 수 있다. 따라서 이들 시료를 1050℃에서 1시간 유지 후 수 냉 시킨 다음 미세조직을 광학현미경으로 관찰하였고 이를 Photo. 1에 나타내었다.

이 사진에서 알 수 있는 바와 같이 12% 및 22%의 Mn이 첨가된 사진 a)와 b)에서는 오스테나이트의 기지조직에 비교적 많은 량의 ϵ 및 α' 마르텐사이트 조직이 표면 기복을 일으키며 생성되어 존재하고 있음을 알 수 있고, 30%의 Mn이 첨가된 사진 c)에서는 주로 오스테나이트 의 단상조직에 극소량의 ϵ 및 α' 마르텐사이트 조직이 생성되어 있음을 알 수 있다.

Photo. 2는 첨가된 Mn 함량이 12%, 22% 및 30%인 세 시료를 1050℃에서 용체화 처리 후 상온에서 냉간 압연을 50% 하였을 때 얻은 미세조직을 광학현미경으로 나타낸 것이다. 세 시료 모두 많은 오스테나이트 조직이 가공에 의해 마르텐사이트 조직으로 가공유기 변태되고 있음을 알 수 있고, 첨가된 Mn의 함량이 달라짐에 따라 오스테나이트의 조직이 마르텐사이트 조직으로



a) b) c)

Photo.1 Optical micrographs of Fe-12%Cr-X%Mn alloys after solution treatment.

a) 12%Mn b) 22%Mn c) 30%Mn



a)

b)

c)

Photo.2 Optical micrographs of Fe-12%Cr-XMn alloys after solution treatment followed by 50% cold work degree.

a)12%Mn

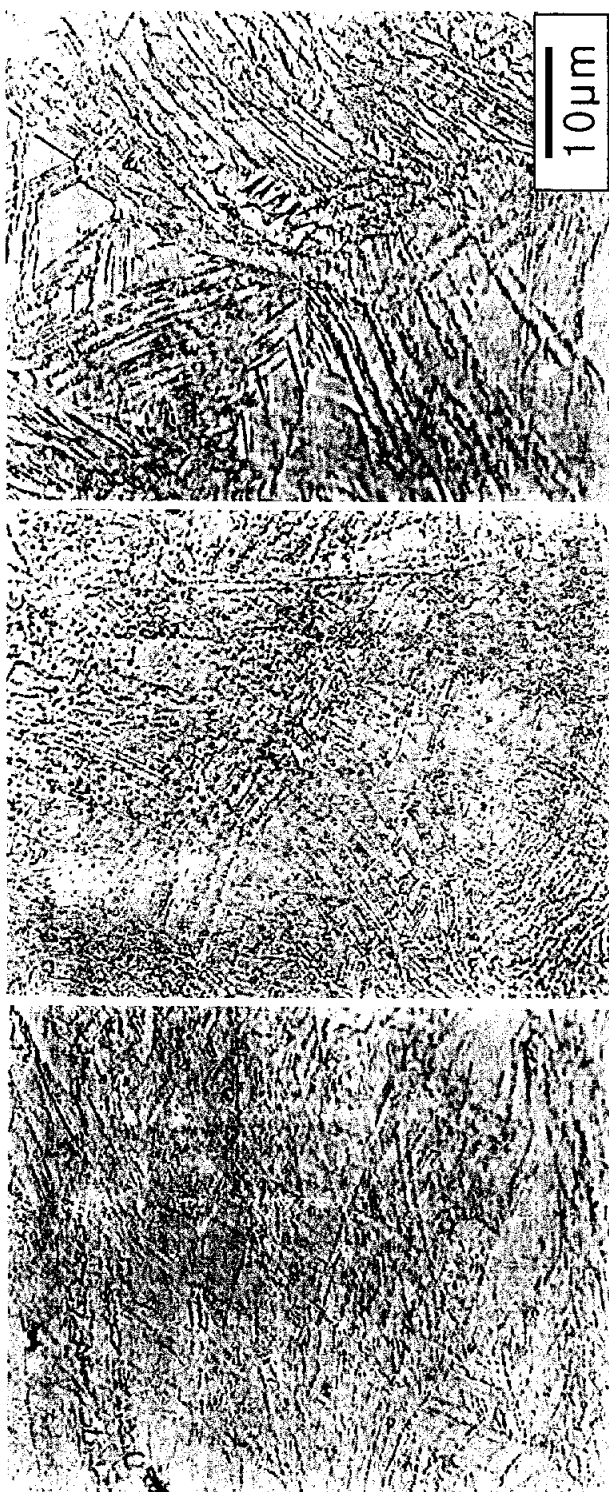
b)22%Mn

c)30%Mn

변태되는 양이 달라지고 있을 뿐만 아니라 가공유기 생성되는 마르텐사이트 조직의 결정립 크기도 달라지고 있음을 알 수 있다.

이와 같이 첨가되는 Mn 함량이 달라짐에 따라 가공유기 생성되는 마르텐사이트 조직의 양과 결정립 크기가 달라지는 이유는 첨가된 Mn의 양이 달라짐에 따라서 오스테나이트상의 안정도 달라지기 때문이라 생각된다¹⁵⁾ 즉 첨가하는 Mn의 양이 많아지면 오스테나이트상의 안정도가 증가하여 가공에 의해 변태 유기 생성되는 양이 적어지기 때문이다.

Photo. 3은 질소의 첨가가 가공유기 생성되는 마르텐사이트 조직에 미치는 영향을 알아보기 위하여 질소의 첨가량이 0.009%, 0.039% 및 0.13%첨가된 세 시료를 용체화 처리 후 50% 냉간압연 하였을 때 얻은 미세조직을 나타낸 것이다. 세 시료 모두 가공에 의해 마르텐사이트 조직이 생성되고 있음을 알 수 있고, 질소의 첨가량이 많아질수록 표면기복을 일으키면서 가공유기 생성되는 마르텐사이트 조직의 양이 적어지고, 또한 마르텐사이트 조직의 결정립 크기가 커지고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 질소의 첨가량이 증가 할수록 가공유기 생성되는 마르텐사이트 조직의 양이 적어지는 이유는 질소는 오스테나이트 조직의 영역을 확대하는데 기인되어 오스테나이트상의 안정도를 증가하기 때문에 가공에 의해 오스테나이트 조직이 마르텐사이트 조직으로 변태하기가 어렵기 때문이고, 마르텐사이트 조직의 결정립 크기가 커지는 이유는 질소의 첨가량이 많아질수록 오스테나이트 상의 안정도가 증가하기 때문에 오스테나이트 조직이 마르텐사이트 조직으로 변태하는 데는 더 큰 에너지가 요구된다. 따라서 더 많은 가공량을 가해야 마르텐사이트 조직으로 변태되기 때문에 가공도가 높아 결정립 크기도 커진다고 생각된다.



a)

b)

c)

Photo.3 Optical micrographs of Fe-12Cr-22Mn-XN alloys solution treatment followed by 50% cold work.

a) 0.009%N

b) 0.039%N

c) 0.13%N

Photo. 4는 가공에 의해 생성되는 ϵ 마르텐사이트 조직을 보다 상세하게 관찰하기 위하여 Mn이 22% 첨가된 시료를 용체화 처리 후 50% 압연 하였을 때 생성된 ϵ 마르텐사이트 조직을 투과전자 현미경에 의해 나타낸 사진으로서 a)는 명시야 상으로 나타낸 것이고, b)는 암시야상으로 나타낸 것이다. 사진 a)와 b)에서 밴드 형상으로 생성된 미세조직을 분석한 회절 패턴 분석 결과 인 c)로부터 ϵ 마르텐사이트 조직이 밴드 형상으로 생성되어 존재하고 있음을 알 수 있다.

Photo. 5는 질소가 0.13% 첨가된 시료를 1050℃에서 용체화 처리 후 상온에서 50%가공하였을 때 생성된 ϵ 마르텐사이트 조직을 암시야상으로 나타낸 것이다. 역시 밴드 형상의 ϵ 마르텐사이트 조직이 생성되고 있음을 알 수 있다.

이상의 미세조직관찰에서 알 수 있는 바와 같이 Fe-12Cr-Mn계 합금에서 첨가되는 Mn함량 변화에 따라 용체화 처리 한 시료가 갖는 미세조직의 차이가 있음을 알 수 있다. 즉, 첨가된 Mn의 양이 12% 및 22%인 합금에서는 비교적 많은 양의 마르텐사이트 조직이 생성되어 존재하고 있는데 반하여, 30%의 Mn이 첨가된 시료에서는 오스테나이트조직에 극소량의 마르텐사이트 조직이 생성되어 존재하고 있음을 알 수 있다. 뿐만 아니라 첨가된 Mn의 함량이 달라짐에 따라 오스테나이트상의 안정도가 달라지는데 기인되어 가공유기 생성되는 양도 달라지고, 마르텐사이트 조직의 결정립크기도 달라지고 있음을 알 수 있다.

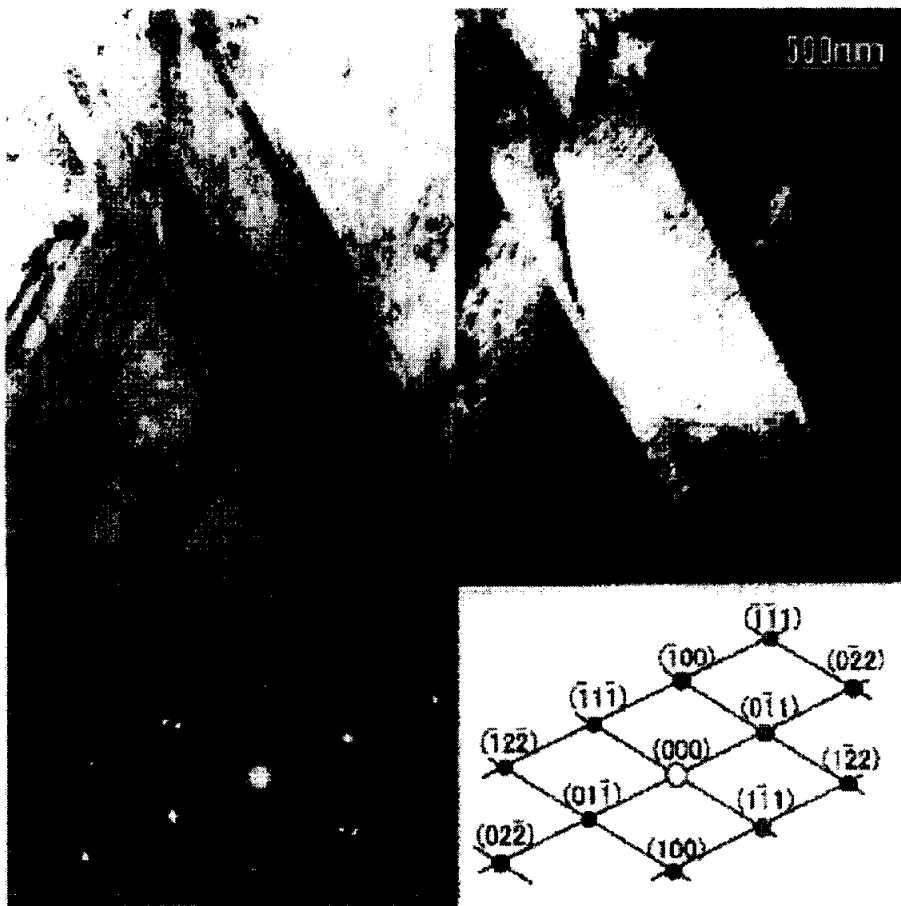


Photo.4 TEM observation of 50% cold work Fe-12Cr-22Mn alloy.

- a) bright-field image
- b) dark-image obtained using the $(0\bar{1}1)_\epsilon$ spot
- c) selected area diffraction(SAD) pattern of a), b) indices of SAD of c)



Photo.5 Dark-field image of 50% cold work Fe-12Cr-22Mn-0.13N alloy.

3.2 감쇠능에 미치는 미세조직의 영향

이전의 미세조직 관찰에서 첨가되는 Mn의 함량이 달라지면 오스테나이트상의 안정도가 달라지는데 기인되어 용체화 처리한 시료에서의 미세조직이 달라지고, 또한 냉간가공에 의해 오스테나이트조직이 마르텐사이트 조직으로 가공유기 변태하는 정도가 달라지고 있음을 알 수 있고, 이러한 미세조직 변화는 전동감쇠능에도 영향을 미칠 것으로 예상된다. 따라서 이들 관계를 조사하였다.

Fig. 3은 Mn함량이 다른 세 시료를 용체화 처리 후 압연율을 달리하는 냉간압연을 실시한 다음 내부마찰계수를 측정하여 압연율 변화에 대해 나타낸 것이다. 12%의 Mn이 첨가된 시료의 경우는 내부마찰계수가 가공 양의 증가와 더불어 증가하다가 특정 가공 양에서 최대 값을 나타낸 후 감소하고 있는데 반하여, 22% 및 30%의 Mn이 첨가된 시료의 경우는 냉간 가공량의 증가와 함께 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한, 내부마찰계수는 22%Mn이 첨가된 시료가 가장 높게 나타났으며, 30%Mn이 첨가된 시료가 가장 낮게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 세 시료 모두 가공량에 따라 내부마찰계수가 달라지는 이유는 첨가되는 Mn의 양이 달라지기 때문에 오스테나이트상의 안정도가 달라지는데 기인되어 용체화 처리 후 생성되는 미세조직이 달라질 뿐만 아니라 가공에 의해 가공유기 생성되는 마르텐사이트 조직의 양이 달라지기 때문이라 생각된다. 따라서 세 시료 모두 가공량의 변화에 따른 각상의 체적분율 변화를 조사하였다.

Fig. 4은 Mn이 12% 첨가된 시료를 용체화 처리 후 상온에서 가공량을 달리

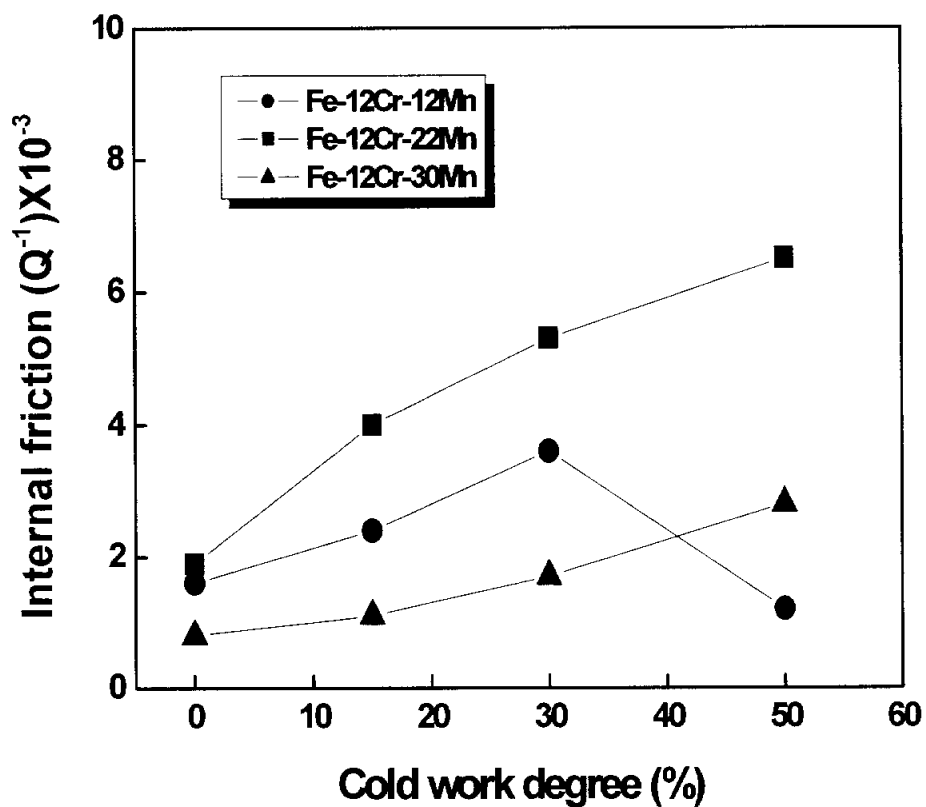


Fig.3 Internal friction of Fe-12%Cr-X%Mn alloys measured at room temperature as function of cold work degree.

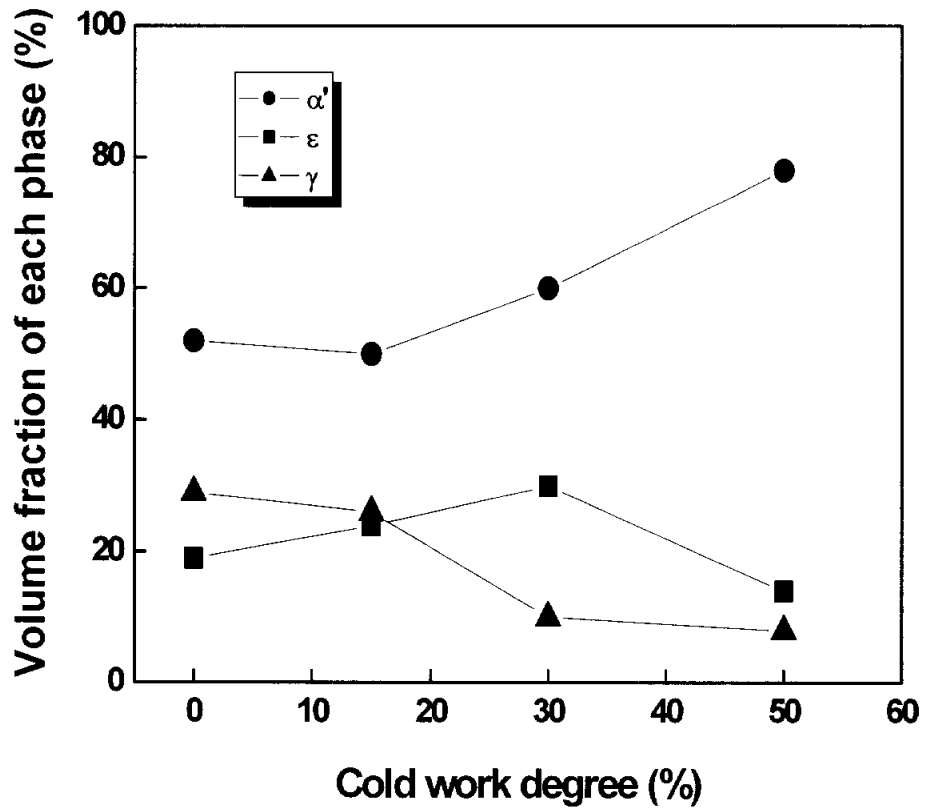


Fig.4 Volume fraction of α' , γ and ϵ phase as function of cold work degree of Fe-12%Cr-12%Mn alloy.

하는 냉간압연을 하였을 때 생성된 각 상들의 체적분율을 조사하여 가공량에 대해 나타낸 것이다. 오스테나이트 조직은 가공도가 증가함에 따라 서서히 감소하고 있는데 반하여, ϵ 마르텐사이트의 조직은 가공도가 증가함에 따라 증가하다가 가공도가 약 30%가 되는 부근에서 최대 값을 나타낸 후 감소하는 특이한 거동을 나타내고 있음을 알 수 있고, 이러한 거동은 Fig.3의 내부마찰 계수 값의 변화와 비슷한 거동을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이에 반하여 α' 마르텐사이트의 조직은 가공도가 증가함에 따라 서서히 증가하다 가공량이 많은 영역에서 ϵ 마르텐사이트 조직의 양이 감소하기 시작하는 지점 부근에서부터 급격하게 증가하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 5는 22%의 Mn을 첨가한 시료를 용체화 처리 후 냉간 가공 양을 달리 하는 냉간 압연을 하였을 때 얻은 각상의 체적분율 변화를 가공량에 대해 나타낸 것이다. 가공량이 증가함에 따라 오스테나이트의 양은 빠른 속도로 감소하고 있는데 반하여 ϵ 마르텐사이트 조직은 변형의 초기단계에서는 빠르게 증가하다 가공량이 30%를 넘어서게 되면 서서히 증가하고 있음을 알 수 있다. 이에 반하여 α' 마르텐사이트 조직의 양은 가공량의 증가와 함께 서서히 증가하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6은 30%의 Mn이 첨가된 시료를 용체화 처리 후 상온에서 가공 양을 달리하는 냉간압연을 실시하였을 때 얻은 각상들의 체적분율 변화를 가공량의 변화에 대해 나타낸 것이다. 가공량이 증가함에 따라 오스테나이트조직은 급격히 감소하고 있는데 반하여 ϵ 마르텐사이트 및 α' 마르텐사이트 조직의 체적분율은 서서히 증가하고 있음을 알 수 있다.

이상에서 세 시료의 가공량의 변화에 따른 각상의 체적분율 변화를 조사한

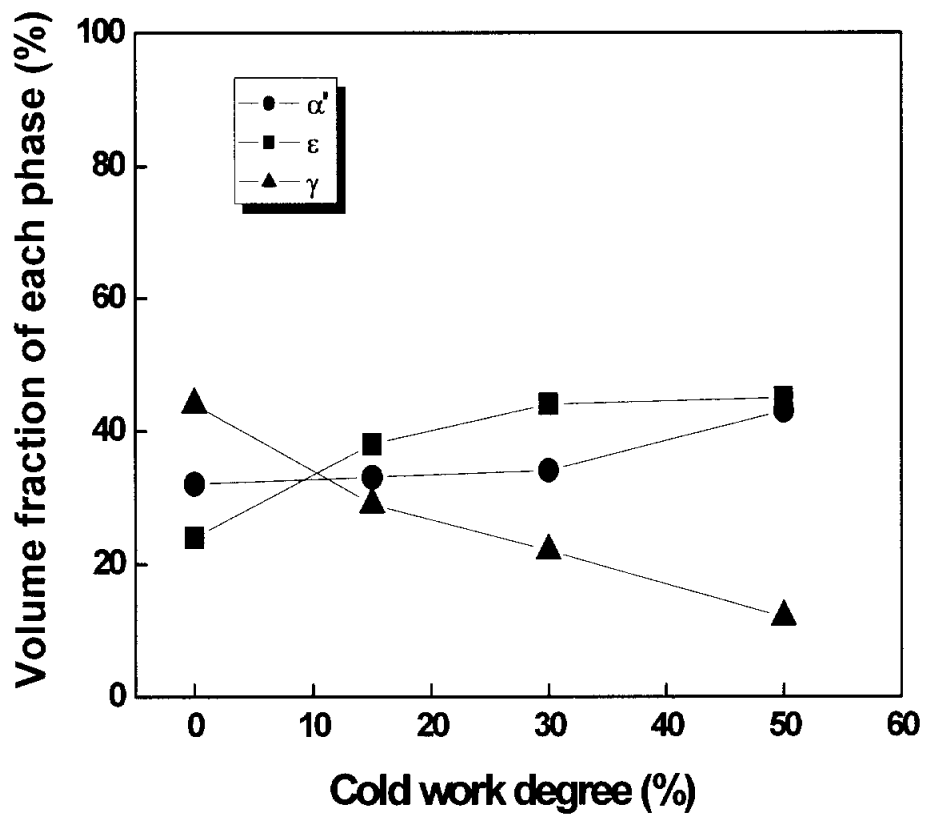


Fig.5 Volume fraction of α' , γ and ϵ phase as function of cold work degree of Fe-12%Cr-22%Mn alloy.

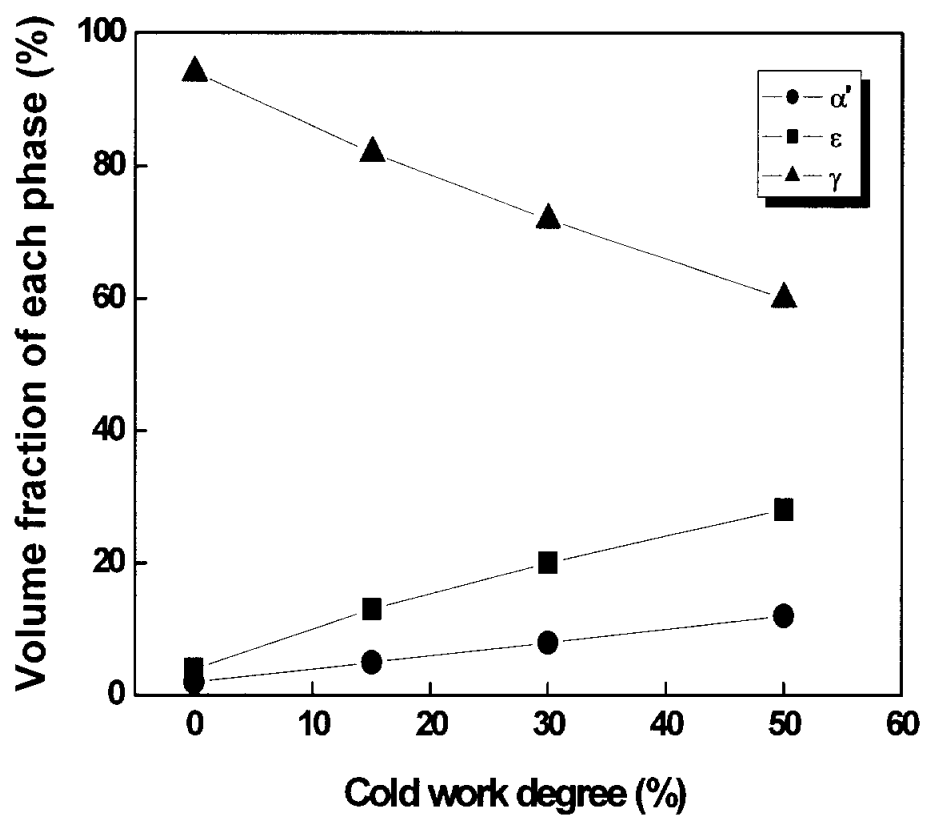


Fig.6 Volume fraction of α' , γ and ϵ phase as function of cold work degree of Fe-12%Cr-30%Mn alloy.

결과 세 시료 모두 Mn의 첨가량이 달라짐에 따라 오스테나이트상의 안정도가 달라지는데 기인되어 오스테나이트상이 ϵ 및 α' 마르텐사이트 조직으로 변태되는 정도가 달라지고 있으며, Mn이 30%첨가된 시료의 경우는 오스테나이트상의 안정도가 높아 가공에 의해 오스테나이트상이 마르텐사이트 조직으로 변태되는 정도가 가장 적은 것을 알 수 있다. 또한 세 시료 모두 가공량의 변화에 따른 내부마찰계수의 변화는 가공에 따른 ϵ 마르텐사이트 조직의 체적분율 변화와 잘 일치되고 있음을 알 수 있고, 이 결과로부터 ϵ 마르텐사이트 조직은 감쇠능에 크게 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서 내부마찰계수에 미치는 ϵ 마르텐사이트 조직의 영향을 조사하여 보았다.

Fig. 7은 Mn이 12% 첨가된 시료에서 내부마찰 계수 값에 미치는 ϵ 마르텐사이트 조직의 영향을 알아보기 위하여 내부마찰계수 값과 ϵ 마르텐사이트 조직과의 관계를 조사하여 나타낸 것이다. ϵ 마르텐사이트 조직의 양이 증가할수록 내부마찰계수가 직선적인 관계로 증가하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 8은 Mn이 22% 첨가된 시료의 내부마찰계수에 미치는 ϵ 마르텐사이트 조직의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. Mn이 12%첨가된 시료에서와 마찬가지로 ϵ 마르텐사이트 조직의 양이 증가함에 따라 내부마찰계수가 직선적인 비례관계로 증가하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 9는 30%의 Mn이 첨가된 시료의 내부마찰계수에 미치는 ϵ 마르텐사이트 조직의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 30%의 Mn이 첨가된 시료에서도 ϵ 마르텐사이트 조직의 양이 증가함에 따라 직선적인 비례관계로 증가하고 있음을 알 수 있다.

또한 세 시료에서 내부마찰계수 값에 미치는 ϵ 마르텐사이트 조직의 영향

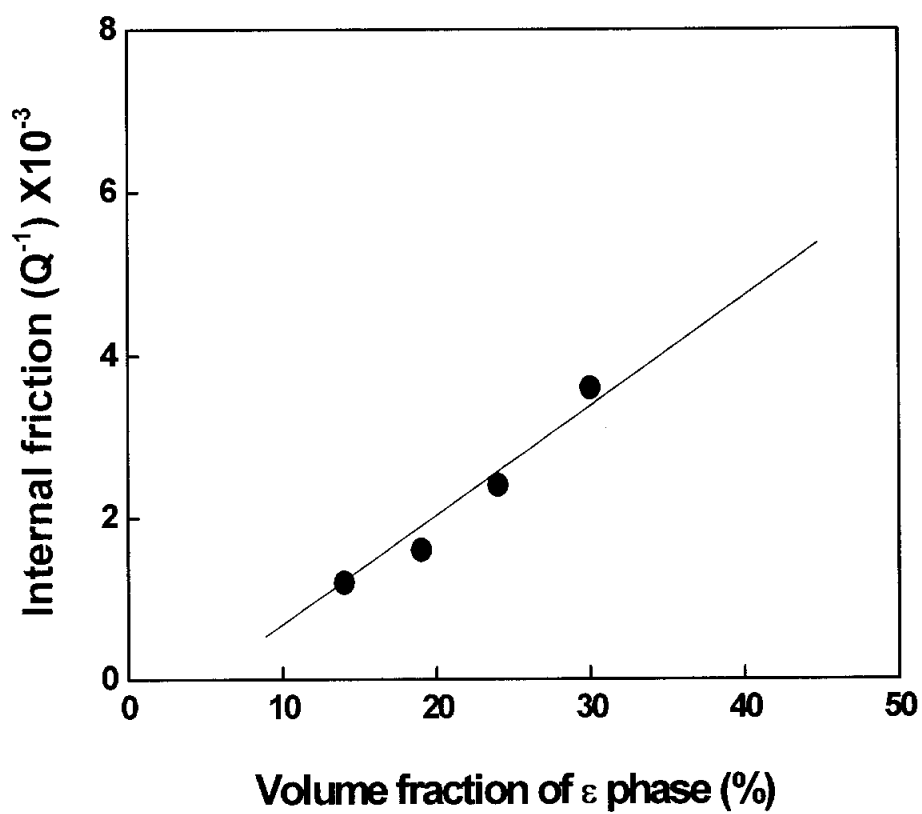


Fig.7 Relationship between internal friction and the volume fraction of ϵ phase in Fe-12%Cr-12%Mn alloy.

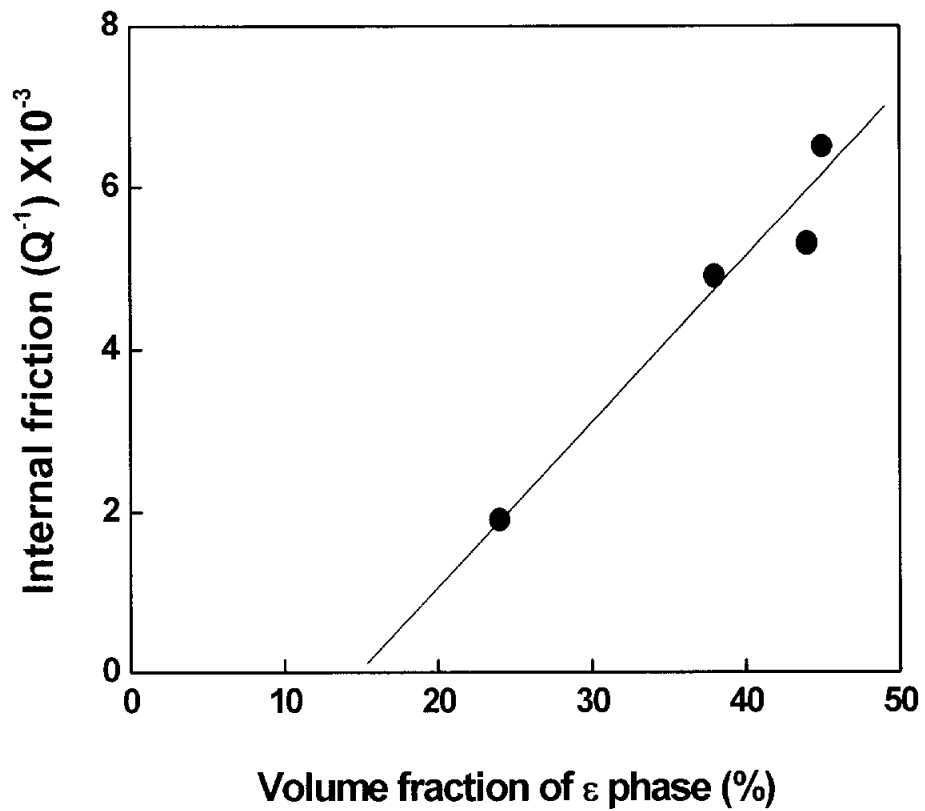


Fig.8 Relationship between internal friction and the volume fraction of ϵ phase in Fe-12%Cr-22%Mn alloy.

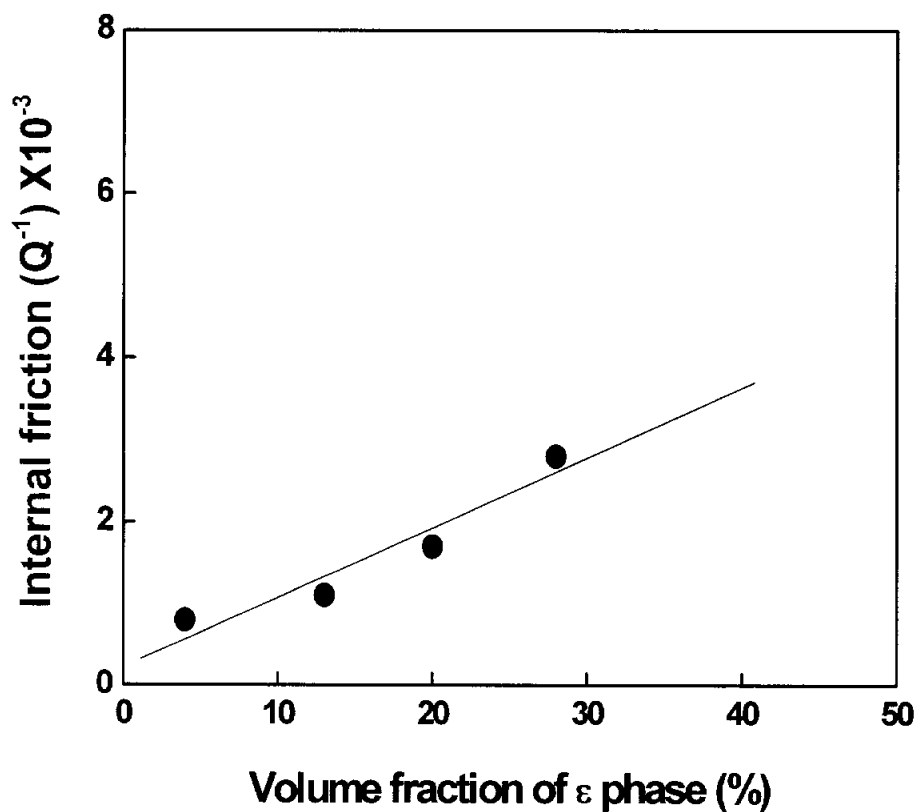


Fig.9 Relationship between internal friction and the volume fraction of ϵ phase in Fe-12%Cr-30%Mn alloy.

을 조사하여 나타낸 결과인 Fig. 7, 8, 9의 비교로부터 22%의 Mn이 첨가된 시료의 경우가 가장 많은 ϵ 마르텐사이트 조직이 생성되는데 기인되어 가장 높은 내부마찰계수 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

일반적으로 상온에서 오스테나이트 조직을 갖는 강을 가공할 때 변태유기 생성되는 ϵ 및 α' 마르텐사이트 조직의 양은 가공온도, 가공도 및 첨가되는 합금원소의 종류 및 양에 따라 오스테나이트상의 안정도가 달라지는데 기인되어 달라진다고 보고 되고 있다^{15,16)}. 본 실험에서도 첨가된 Mn의 함량이 달라지는데 기인되어 오스테나이트 조직의 안정도가 달라지게 되고 그 결과 가공에 의해 변태유기 생성되는 ϵ 마르텐사이트 조직의 양이 달라지기 때문이라 생각된다.

본 실험에서 22%의 Mn이 첨가된 시료가 가장 높은 내부 마찰계수 값을 나타내는 이유는 12%의 Mn이 첨가된 시료는 오스테나이트 조직의 안정도가 적어 이미 용체화 처리할 때 많은 양의 α' 마르텐사이트 조직이 생성되어 존재하고 있기 때문에 상대적으로 오스테나이트 조직의 양이 적다. 따라서 가공에 의해 ϵ 마르텐사이트 조직으로 변태 될 수 있는 오스테나이트 조직의 양이 적기 때문에 가공유기 생성되는 ϵ 마르텐사이트 조직의 양이 적고, Mn이 30% 첨가된 시료는 첨가된 Mn의 양이 너무 많아지는데 기인되어 오스테나이트의 안정도가 크게 높아져 가공을 하여도 오스테나이트의 조직이 마르텐사이트 조직으로 가공유기 변태되기 어려워서 ϵ 마르텐사이트 조직의 생성량이 적어지기 때문이라 생각된다¹⁷⁾.

이상의 실험결과로부터 내부마찰계수는 오스테나이트 상의 안정도에 지배되어 가공유기 생성되는 ϵ 마르텐사이트 조직의 양이 달라지는데 따라 직선적인

비례관계로 달라지고 있음을 알 수 있다. 따라서 ϵ 마르텐사이트 조직에 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

3.3 감쇠능에 미치는 N 첨가의 영향

Fig. 10은 Fe-12Cr-22Mn합금에서 질소 첨가가 내부마찰계수에 미치는 영향을 알아보기 위하여 질소의 첨가량을 달리하여 시료를 제작한 다음 용체화 처리 후 50% 냉간 가공하였을 때 얻은 내부마찰 계수 값을 조사하여 첨가된 질소의 양에 대해 나타낸 것이다.

질소의 첨가량이 많아질수록 내부마찰계수가 적어지고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 N는 오스테나이트상의 안정화 원소로 작용하기¹⁸⁾ 때문에 질소의 첨가량이 증가하면 오스테나이트상의 안정도가 증가하는데 기인되어 가공에 의해 내부마찰계수에 크게 영향을 미치는 ϵ 마르텐사이트 조직으로의 변화가 적어지기 때문이라 생각된다. 따라서 질소가 첨가된 합금에서 질소 첨가가 ϵ 마르텐사이트 조직의 형성에 미치는 영향을 조사하였다

Fig. 11은 ϵ 마르텐사이트 조직에 미치는 질소의 영향을 알아보기 위하여 질소의 첨가량이 다른 시료를 용체화 처리 후 상온에서 50% 압연하였을 때 생성된 ϵ 마르텐사이트 양을 첨가한 질소량에 대해 나타낸 것이다. 질소의 첨가량이 증가 할수록 가공유기 생성되는 ϵ 마르텐사이트 조직의 양이 적어지고 있음을 알 수 있다.

이상의 결과로부터 질소가 첨가되면 오스테나이트상의 안정도가 증가하는데

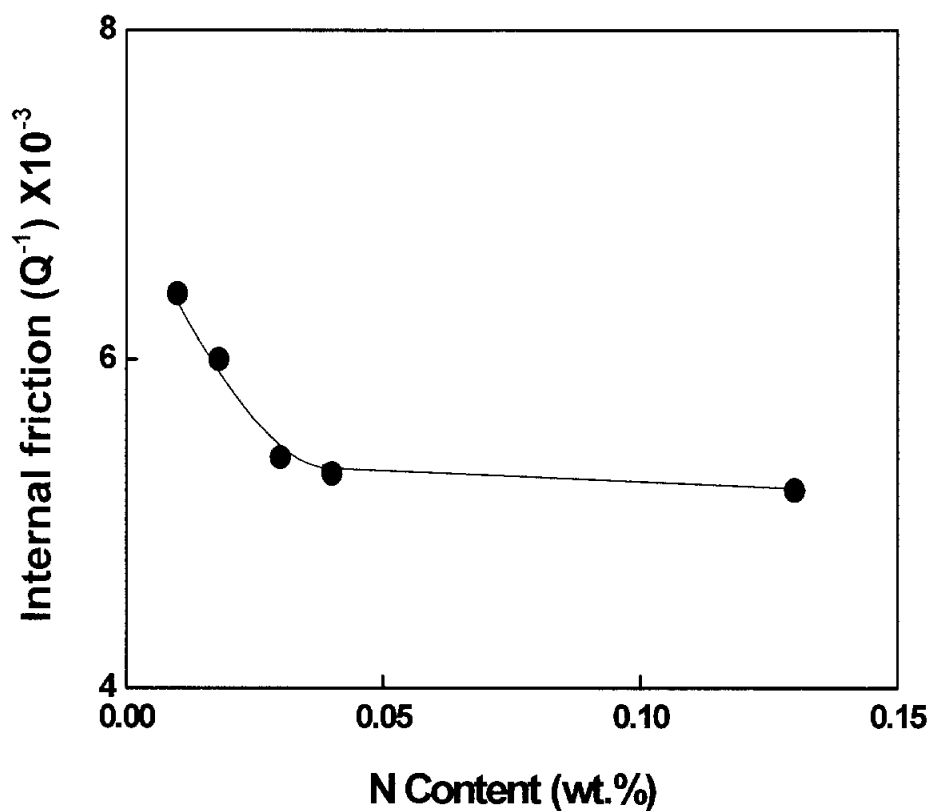


Fig.10 Effect of N on the internal friction of Fe-12%Cr-22%Mn alloy obtained after 50% cold work at room temperature.

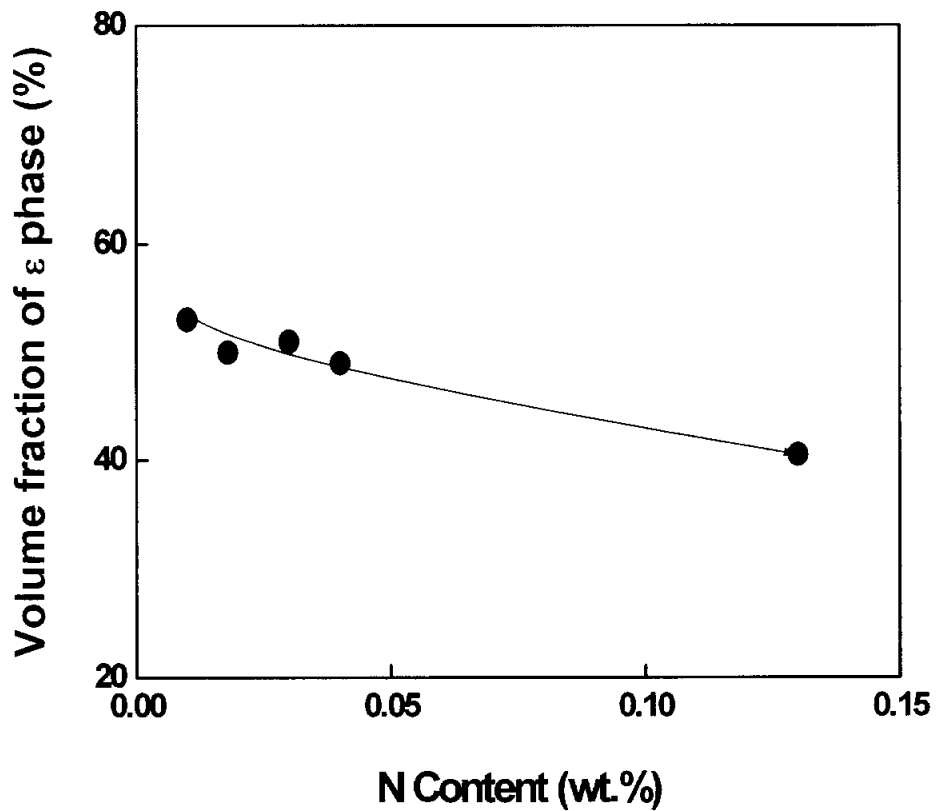


Fig.11 Effect of N on the volume fraction of ϵ martensite phase formed in the Fe-12%Cr-22%Mn obtained after 80% cold work at the room temperature.

기인되어 오스테나이트 조직이 ϵ 마르텐사이트 조직으로 변태되는 양이 적어 내부마찰계수 값이 감소하는 것을 알 수 있다.

3.4 감쇠능에 미치는 서브제로처리의 영향

시료의 진동 감쇠능은 가공에 의해 변태 유기 생성되는 ϵ 마르텐사이트 조직에 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있으며, ϵ 마르텐사이트 조직은 서브제로처리에 의해서도 달라질 것으로 예상되며, 이러한 ϵ 마르텐사이트 조직의 변화 또한 내부마찰계수에 크게 영향을 미칠 것으로 생각한다. 서브제로 처리가 내부마찰계수에 미치는 영향을 조사 하였다.

Fig. 12는 22%의 Mn이 첨가된 시료를 가공량을 달리하는 냉간압연을 한 다음 196℃에서 3시간 서브제로 처리 후 내부마찰계수를 측정 하였을 때 얻은 대수 감쇠율 값을 서브제로처리하지 않은 시료와 비교하여 나타낸 것이다. 서브제로처리 한 시료의 경우가 서브제로처리하지 않은 시료에 비해 내부마찰계수 값이 높게 나타나고 있음을 알 수 있고, 가공도가 많아질수록 그 차이는 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

이와 같이 서브제로처리하면 내부마찰계수가 커지는 이유는 냉간 압연 후 서브제로처리하면, 서브제로 처리에 의해 더 많은 ϵ 마르텐사이트가 생성되기 때문이라 생각된다. 또한 가공량이 많아질수록 서브제로처리의 영향이 더 크게 나타나는 이유는 가공량이 많아질수록 가공에 의해 잔류응력이 더 많이 생성되어 잔류하게 되고, 이 잔류 응력이 심랭처리 시 ϵ 마르텐사이트 조직으로

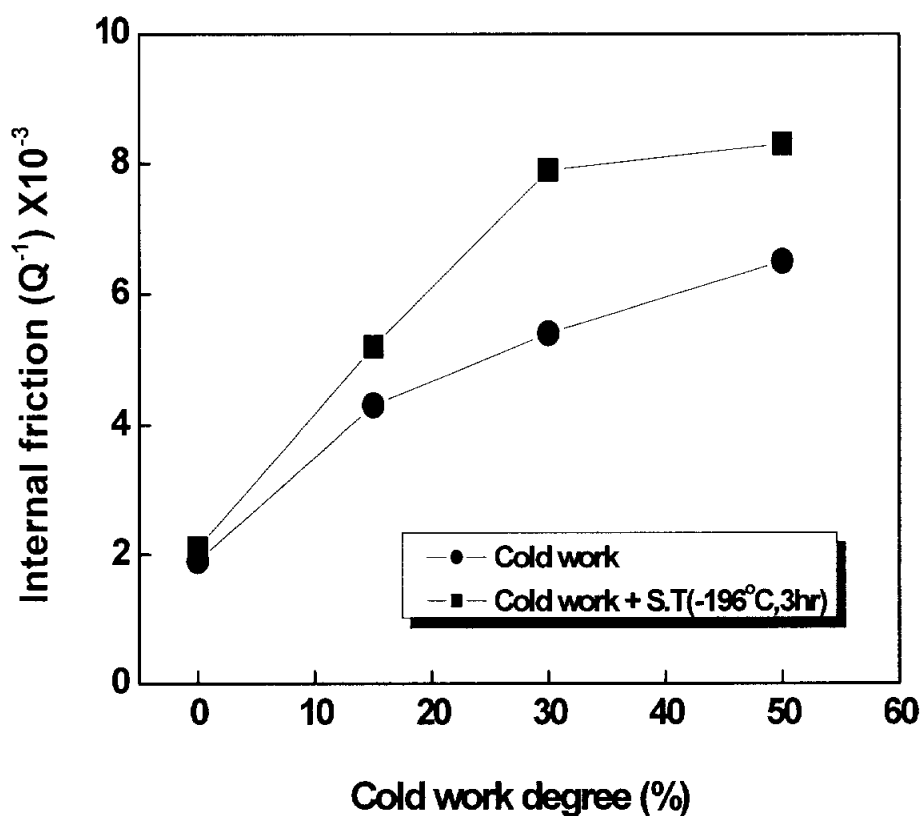


Fig.12 Effect of subzero treatment on the internal friction of Fe-12%Cr-22%Mn alloy obtained after 50% cold work at room temperature.

의 변태를 조장하기 때문이라 생각된다.

Fig. 13은 22%의 Mn이 첨가된 시료를 가공 양을 달리하는 냉간압연을 한 다음 196℃에서 3시간 서브제로 처리 후 ϵ 마르텐사이트 조직의 양을 측정하였을 때 얻은 ϵ 마르텐사이트 조직의 양을 서브제로 처리하지 않은 시료와 비교하여 가공 량에 대해 나타낸 것이다. 가공 양이 증가 할수록 ϵ 마르텐사이트 조직의 양이 증가하고 있음을 알 수 있고, 가공 양이 증가 할수록 서브제로처리에 의한 영향이 더욱더 크게 나타나고 있음을 알 수 있다.

이와 같이 서브제로처리하면 ϵ 마르텐사이트 조직이 더 많이 생성되는 이유는 가공 시 생성되어 시료 내 잔류하는 응력이 서브제로 처리 시 오스테나이트조직을 마르텐사이트 조직으로 변태 될 때 변태를 촉진하기 때문이라 생각된다. 또한 가공양이 많아질수록 서브제로처리의 영향이 더 크게 나타나는 이유는 가공양이 많아 질수록 가공에 의한 잔류응력이 더 많이 생성되어 재료내 잔류하게 되고, 이 잔류 응력이 심랭처리 시 ϵ 마르텐사이트 조직으로 변태를 조장하기 때문이라 생각된다.

Fig. 14는 상온에서 50% 냉간압연 후 196℃에서 서브제로 처리한 시료에서 내부마찰 값에 미치는 ϵ 마르텐사이트 조직의 영향을 조사하여 나타낸 것이다. 서브제로 처리한 시료에서도 서브제로처리하지 않은 시료에서와 마찬가지로 ϵ 마르텐사이트 조직의 양이 증가함에 따라서 직선적인 비례 관계로 증가하고 있음을 알 수 있다. 이 결과로부터 서브제로처리 한 시료의 진동감쇠 능력도 ϵ 마르텐사이트 조직에 크게 지배되고 있음을 알 수 있다.

Fig. 15는 Fe-12%Cr-22%Mn에 첨가된 질소의 함량이 다른 두 시료를 냉간압연 후 여러 조건으로 서브제로 처리하였을 때 서브제로처리 조건 변화에 따

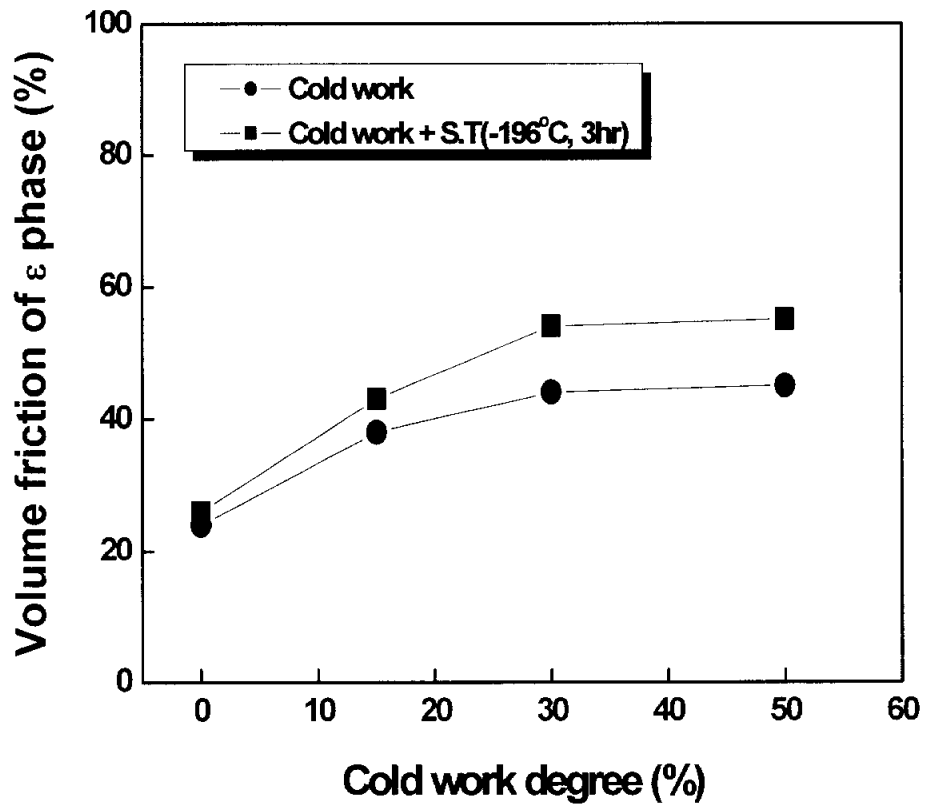


Fig.13 Effect of subzero treatment on the volume fraction of ϵ phase in Fe-12%Cr-22%Mn alloy obtained 50% cold work at room temperature.

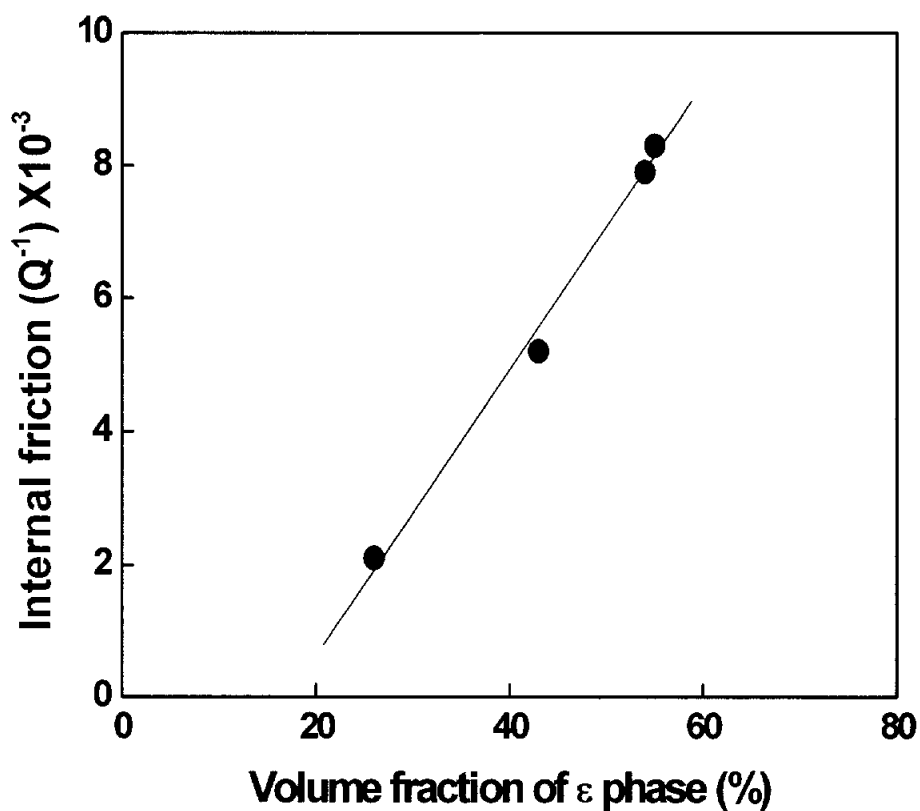


Fig.14 Relationship between internal friction and volume fraction of ϵ phase in Fe-12Cr-22%Mn alloy with subzero treated at -196°C for 3hr, after 50% cold work.

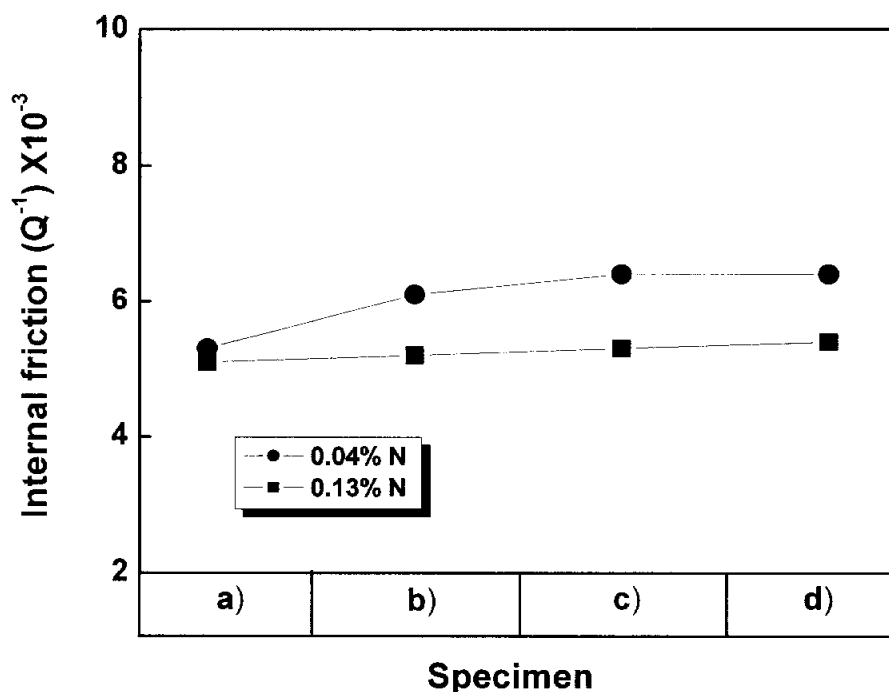


Fig.15 Effect of subzero treatment on internal friction of the Fe-12%Cr-22%Mn-X% alloys.

a) 50% cold work

b) subzero treatment at 5°C for 2 weeks after 50% cold work

c) subzero treatment at -50°C for 3hr, after 50% cold work

d) subzero treatment at -196°C for 3hr, after 50% cold work

른 내부마찰계수 값을 측정하여 나타낸 것이다.

서브제로 처리 조건변화에 따라 내부마찰계수 값의 크기는 크게 변화 되지 않지만, 서브제로처리 온도가 낮아질수록 약간 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이와 같이 서브제로처리 온도가 낮아질수록 내부마찰계수가 약간 증가하는 이유는 서브제로처리온도가 낮아질수록 ϵ 마르텐사이트 조직의 양이 많아지기 때문이라 생각된다.

Fig. 16은 Fe-12%Cr-22%Mn에 첨가된 질소의 함량이 다른 두 시료를 냉간 압연 후 여러 조건으로 서브제로 처리하였을 때 서브제로처리 조건 변화에 따른 ϵ 마르텐사이트 조직의 양을 조사하여 나타낸 것이다.

내부마찰계수 값과 마찬가지로 서브제로 처리 조건변화에 따라 ϵ 마르텐사이트 조직의 양은 크게 변화 되지 않고 있지만, 서브제로처리 온도가 낮아질수록 ϵ 마르텐사이트 조직의 양이 약간 증가하는 경향을 나타내고 있다, 이와 같이 서브제로처리 온도가 낮아질수록 ϵ 마르텐사이트 조직의 양이 약간 증가하는 이유는 서브제로처리온도가 낮아질수록 오스테나이트 조직에서 마르텐사이트 조직으로 변태하는 열적 구동력이 커지기 때문이라 생각된다.

한편, 질소가 첨가되지 않은 시료에서는 서브제로처리 처리의 영향이 비교적 크게 나타나고 있는데 반하여, 질소가 첨가된 시료에서 서브제로처리의 영향이 적게 나타나는 이유는, 질소가 첨가되면, 오스테나이트 상의 안정도가 증가하는데 기인되어 서브제로 처리에 의해 오스테나이트조직이 마르텐사이트 조직으로 변태되는 정도가 적기 때문이라 생각된다.

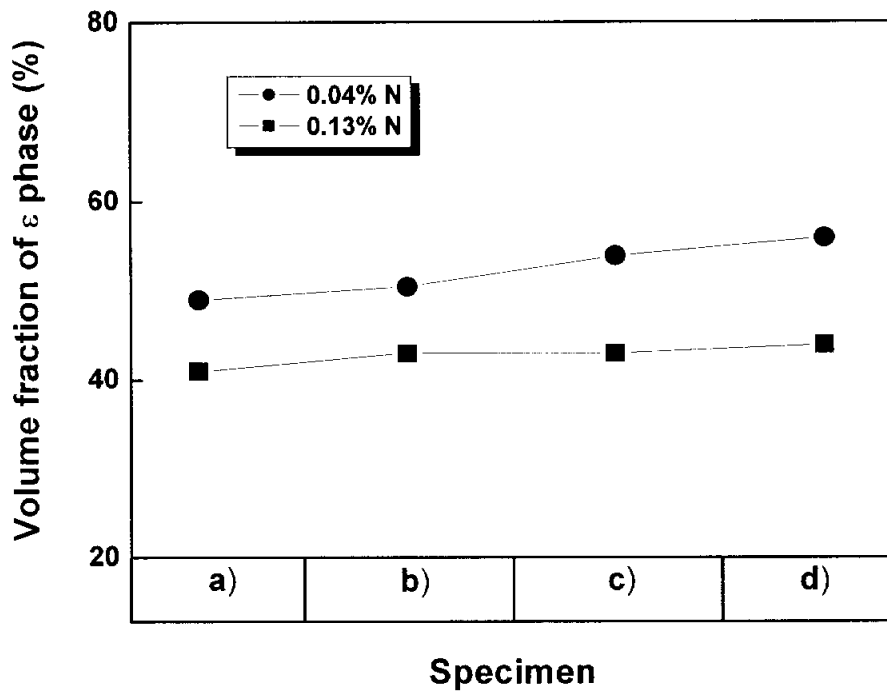


Fig.16 Effect of subzero treatment on volume fraction of ϵ phase of the Fe-12%Cr-22%Mn-X% alloys.

- a) 50% cold work
- b) subzero treatment at 5°C for 2 weeks after 50% cold work
- c) subzero treatment at -50°C for 3hr, after 50% cold work
- d) subzero treatment at -196°C for 3hr, after 50% cold work

4. 결 론

Fe-12Cr-XMn합금의 감쇠능에 질소 첨가 및 서브제로처리의 영향을 조사하기 위해 합금원소인 Mn, N의 양을 변화시켜 시료를 만든 다음 상온에서 가공 양을 달리하는 압연과 또한 온도를 달리하는 서브제로 처리에 의해 미세조직을 변화시켜 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 오스테나이트의 조직이 가공에 의해 마르텐사이트 조직으로 가공유기 변태되고, ϵ 마르텐사이트 조직의 양은 가공도의 증가와 함께 증가하는데 기인되어 감쇠능은 증가하였다.
- 2) Fe-12Cr-XMn 합금에서 Mn의 함량이 22% 일 때 그리고 냉간압연이 30% 일 때 가장 많은 양의 ϵ 마르텐사이트 조직이 생성되는데 기인되어 가장 우수한 감쇠능을 나타내었다.
- 3) 질소의 첨가량이 증가할수록 오스테나이트 상의 안정도가 증가하여 가공유기 생성되는 ϵ 마르텐사이트 조직의 생성량이 적어지는데 기인되어 감쇠능이 감소하였다.
- 4) Fe-12Cr-22Mn 강에서 냉간압연 후 서브제로 처리를 실시하게 되면 더 많은 양의 ϵ 마르텐사이트 조직이 생성되는데 기인되어 감쇠능도 증가하였을 뿐만 아니라 가공도가 높아질수록 서브제로효과는 더욱더 크게 나타났다. 그러나 질소가 첨가된 시료에서는 질소의 첨가에 의해 오스테나이트 상의

안정도가 증가하는데 기인되어 서브제로처리의 효과는 크게 나타나지 않았다.

- 5) 서브제로 처리온도가 낮아질수록 ε 마르텐사이트 조직이 더 많이 생성되는데 기인되어 감쇠능은 높게 나타났지만 그 차이는 크지 않았다.

5. 참고 문헌

1. S. Nishiyama : Kinzoku 41, (2000) 43.
2. I. S. Kim, B. Y. Choi, C. Y. Kang, K. Miyahara : Metals and Materials Inter., submitted.
3. H. Sakamoto : Tetutohagane 14, (1974) 2203.
4. R. Matumura, H. Tutihasi, U. Hurukawa : Tctu to Hagane 81,(1995) 79.
5. K. Tenno : Zairyoukagaku 15, (1978) 250.
6. U. Watanabe : Tctutohagane 77, (1991) 306.
7. K. K. Lee, W. Y. Jang, S. H. Baik, M. C. Shin, C. S. Choi : Scripta Materialia 37, (1997) 943.
8. J. Quiroga, A. Ghillarducci de Salva, M. Mondino, A. Lamagna : J. de Physique Colloque C10, Tom 46, Decembre 10 (1985).
9. Y. Tomota, Y. Morioka : Kinzoku 67, (1997) 5.
10. Y. K. Lee, J. H. Jun, C. S. Choi : ISIJ Inter., 37, (1997) 1023.
11. K. H. Lee, V. A. Udovenko, B. J. Lee, K. K. Cho, M. C. Shin :J. of Korean Inst. Met. Mater., 32, (1994) 1499.
12. Y. K. Lee, B. S. Lim, B. I. Cho, C. S. Choi : Scripta Materialia 37, (1997) 1611.
13. D. W. Shoon, C. Y. Kang, K. Miyahara, J. H. Sung; SAE International 1(2004), 745.

14. H. Okada, H. Sahashi, I. S. Kim, C. Y. Kang, K. Miyahara;
Materials Science and Engineering A 370(2004) 519-523.
15. J. Sobatka et al ; Neue Hutte, (1972).
16. 강창룡, 성장현; 열처리공학회지, 제4권, 제 4호(1991),44.
17. Y. Fukase, K. Ebato, N. Okubo and S. Murao; Trans. ISIJ,
31(1968), 316.
18. 牧正志, 友田陽, 田村今南;日本金屬學會誌, 38, (1974), 871.
19. J. O. Nilsson; Materials Science and Tectnology, August, 8
(1992) 685.

감사의 글

먼저 부모님께 감사드리고, 이 논문이 완성되기 까지 부족하기 이를 데 없는 저에게 학문의 진리와 심오함을 가르쳐 주시고, 사랑으로 지도해 주신 강창룡 교수님께 그동안의 가르침에 어긋나지 않는 훌륭한 인재가 될 것을 약속드리며 마음 속 깊이 감사드립니다. 또, 논문 심사 과정에서 많은 충고와 지도에 힘써주신 김무길 교수님과 김한균 교수님, 학부 및 대학원 과정에서 제가 전공에 눈을 뜰 수 있게 해주신 김현주 교수님, 오이식 교수님, 김창규 교수님, 정병호 교수님, 이종문 교수님께 머리 숙여 감사드립니다. 논문 실험 동안 아낌없는 장비 지원과 지도에 힘써 주신 동아대학교 성장현 교수님과 주동원 선생님 및 성분분석 및 미세조직 관찰에 많은 도움을 주신 공동실험실의 강순배 선생님께도 고마움을 전합니다. 많은 밤을 지새우면서 한 바디의 불평도 없이 실험에 도움을 주었던 연구실 후배 김재환, 이도훈, 엄정호, 손유진, 송용근, 최한글, 김소연, 방현식 군에게 감사의 뜻을 전합니다. 그리고 마지막으로 물심양면으로 도와주신 정대업 사장님께 진심으로 감사의 뜻을 전하고 싶습니다.