J. of the Korean Society for Heat Treatment
Vol. 8, No. 3, September, pp.197~204.

《論 文》

Fe-18wt%Mn 마르텐사이트 합금에서 주조상태와 열처리한 상태의 기계적 성질과 진동감쇠능에 관한 연구

백승한 · 김정철 · 지광구* · 신명철* · 최종술**

(주)우진 계측기술연구소
* 한국과학기술연구원 금속연구부
** 연세대학교 공과대학 금속공학과

Effects of Heat Treatment on Damping Capacity and Mechanical Properties in as-cast and heat treated Fe-18wt%Mn Martensitic Alloy

S. H. Baik, J. C. Kim, K. K. Jee*, M. C. Shin* and C. S. Choi**

Research Institute of Measuring Technology, Woojin OSK Corp., Korea
* Korea Institute of Science and Technology, Div. of Metals, Seoul 136-791
** Yonsei University, Department of Metallurgical Engineering, Seoul 120-749

ABSTRACT

In recent work, we reported that a hot-rolled Fe-18wt%Mn alloy exhibited high damping capacity as well as excellent mechanical properties. It was also proposed that damping capacity of the alloy was proportional to the γ/ε boundary area.

In the present study, the effects of homogenization(12hrs at 1100℃) and solution treatment(1hr at 1050 ℃ before air cooling) on damping capacity and mechanical properties were investigated for as-cast and heat treated Fe-18wt%Mn alloy. The specimen subjected to both homogenization and solution treatment was found to show superior damping capacity and mechanical properties to the as-cast state due to removal of segregation and increase in γ/ε boundary area.

1. 서 론

산업문명이 고도로 발전함에 따라 인류의 생활은 편의와 풍요를 누리게 되었지만, 그것이 남긴 각종 부산물은 공해로서 우리의 자연환경을 위협하고 있다. 이들 공해 중 소음과 진동은 인간에게 심리적 불안감과 난청 등의 질병을 유발시키며, 공업적 측면에서는 정밀기계의 정밀도 저하 및 부품의 조기피로파괴 등의 성능저하를 야기시킨다. 이러한 소음과 진동을 방지하기 위해서 종래에는 진동체에 오일댐퍼나 에어댐퍼를 설치하여 진동에너

지를 흡수시키거나(System Damping), 금속과 금속사이에 점탄성이 큰 고분자재료를 끼워서 진동에너지를 흡수시키는 방법(Structure Damping) 등이 강구되어 왔었다. 이러한 구조적 방법에 의해서는 진동과 소음을 제거하는데 있어서 많은 문제점들이 내포되어 있을 뿐만 아니라, 공업적 이용면에서도 그 한계성을 벗어날 수가 없다. 따라서 최근에 와서는 금속재료 그 자체가 진동에너지를 직접 흡수케 하는 적극적인 방식(Material Damping)으로 방진대책이 전환되면서 방진합금의 개발에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.[1)~3)]

최근 저자들 중의 일부가[4)~8)] Fe-Mn 이원계 합금이 높은 진동감쇠능을 나타내며, 기계적 성질 또한 매우 우수하다는 사실을 처음으로 밝혀내었으며, 진동감쇠는 γ/ε 계면의 이동에 의해서 일어난다고 제안한 바 있다.

이 연구에서는 Fe-18wt%Mn 합금의 주조상태, 균질화처리 상태(1100℃×12hr), 용체화처리 상태(1050℃×1hr)에 대한 진동감쇠능과 기계적 성질을 각각 조사하여 서로 비교 검토하였다.

2. 실험방법

2.1 시편제조

본 연구에 사용된 합금은 진공중 고주파유도로에 99.9% 순도의 전해철 및 전해망간을 소정량 장입하여 용해한 다음 약 8*kg*의 잉곳트를 제조하였으며, 제조된 합금의 화학조성은 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Chemical composition of the alloy used.

Alloy	Composition(wt%)			
	Mn	C	Si	Fe
Fe-18%Mn	18.6	0.03	0.012	bal.

2.2 열처리과정

기계 가공한 각 시편의 열처리에 따른 진동감쇠능을 조사하기 위해 행한 열처리의 종류는, 합금에 대해 열처리를 전혀 하지 않은 경우, 합금을 1050℃에서 1시간 용체화처리만 한 경우, 합금을 1100℃에서 12시간 균질화처리만 한 경우, 합금을 균질화처리 및 용체화처리를 모두 행한 경우 등 4종류이다.

이들 열처리 조건을 Table 2에 요약하였다.

2.3 X-선 회절시험

각 시험편에 존재하는 상을 확인하기 위하여 Fe-Kα선으로 X-선 회절시험을 행하였다. 회절각(2θ)의 범위는 40°~120°이었으며, 주사속도는 8°/min으로 하였고, filter는 Mn을 사용하였다.

각 시험편에 존재하는 각 상의 양을 X-선 회절도형으로부터 아래와 같은 식을 이용하여 결정하였다.[9)~10)]

$$V_\varepsilon + V_\gamma + V_\alpha = 1 \quad \text{---------- (1)}$$

$$\frac{I_\varepsilon}{I_\gamma} = \frac{R_\varepsilon}{R_\gamma} \times \frac{V_\varepsilon}{V_\gamma} \quad \text{---------- (2)}$$

$$\frac{I_\alpha}{I_\gamma} = \frac{R_\alpha}{R_\gamma} \times \frac{V_\alpha}{V_\gamma} \quad \text{---------- (3)}$$

$$R = m \cdot (1/v^2) \cdot (LP) \cdot (F)^2 \cdot e^{-2M} \quad \text{—— (4)}$$

m : 다중도 인자

v : 단위격자의 부피

LP : Lorentz Polarization 인자

F : 구조인자

e^{-2M} : 온도인자

V : 각 상의 부피분율

(4)식의 R값을 구하는데 사용한 인자들의 값은 Cullity[11)]가 제시한 값을 사용하였으며, 단위격자의 체적은 γ, ε, α' 의 각 격자상수를 측정하여 계산하였다. 이렇게 구한 각 상의 R값과 실제 측정한 각 상의 적분강도를 (2)식과 (3)식에 대입한 후, (1)식을 이용하여 각 상의 부피분율을 구하였다.

Table 2. Types of the heat treatment of the alloy.

HT-type	Homogenization (12hrs at 1100℃)	Solution treatment (1hr at 1050℃)
1	×	×
2	×	○
3	○	×
4	○	○

2.4 미세조직 관찰 및 경도시험

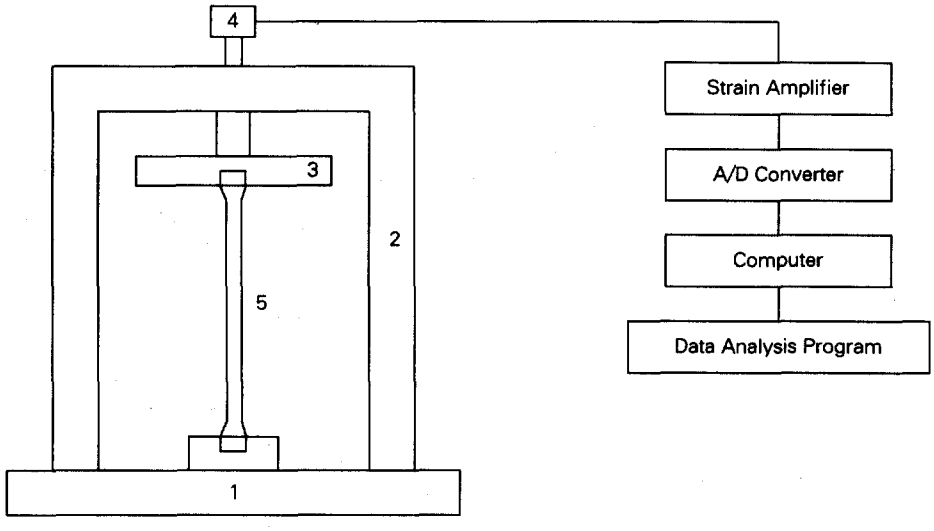
열처리를 행한 시편을 상온에서 emery paper로 polishing한 후, polishing에 의해 형성될 수 있는 응력유기 마르텐사이트를 제거하기 위해 acetic acid(90*ml*)+perchloric acid(10*ml*)의 혼합용액에서 전압 20V, 전류

40㎃의 조건으로 전해연마한 후, 증류수(10 ㏄)+$K_2S_2O_8$(0.12g)의 용액을 사용하여 부식시킨 후 광학현미경으로 미세조직을 관찰하였다.

2.5 진동감쇠능 측정 및 인장시험

본 연구에서 진동감쇠능의 측정은 Fig.1의 Föple-Pertz형 비틀림 진자 시험 장치를 사용하였으며, 시편을 자유진동시켰을 때 시간의 경과에 따라 진동의 진폭이 점차 감소해 가는 것을 Potentiometer로 감지하여, 증폭기를 거쳐 A/D converter를 통해 입력된 시간대 진폭 변화곡선으로부터 strain에 따른 진동감쇠능(Specific Damping Capacity)을 측정하였다.

또한, JIS 4호 봉상 인장시험편을 제작하여 Instron-4468 만능시험기를 이용하여 인장성질을 조사하였으며, 이때의 cross-head speed는 1㎜/min으로 하였다.



1. Base 2. Frame 3. Inertia Bar 4. Potentiometer 5. Specimen

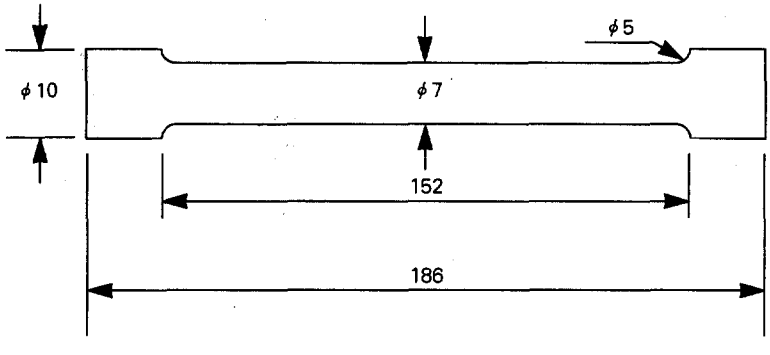


Fig. 1 Schematic diagram of damping measuring apparatus and dimension of its specimen(in mm).

3. 실험결과 및 고찰

3.1 열처리조건에 따른 진동감쇠능 및 상의 변화

Photo 1은 열처리 형태에 따른 광학현미경 조직으로서, 주조상태인 HT-type 1은 ε plate가 성장하지 못하고 있다. HT-type 2 → HT-type 3 → HT-type 4로 갈수록 ε plate는 잘 발달되어 있다.

Fig. 2와 Fig. 3에는 열처리 형태에 따른 합금의 X-선 회절도형과 각 상의 상분율을 나타내었다. As-cast 상태인 HT-type 1은 γ 상의 peak가 상당히 크고, 용체화처리만 한 HT-type 2는 ε peak가 상대적으로 커졌다. 균질화처리만 행한 HT-type 3은 용체화처리를 한 후 공냉을 한 HT-type 2에 비해 균질화처리 후 노냉을 하였기 때문에 상대적으로 α' peak가 커졌으며, 균질화처리 및 용체화처리를 모두 행한 HT-type 4는 HT-type 3에 비해 α' 은 줄어든 반면 ε peak는 상당히 커졌음을 알 수 있다.

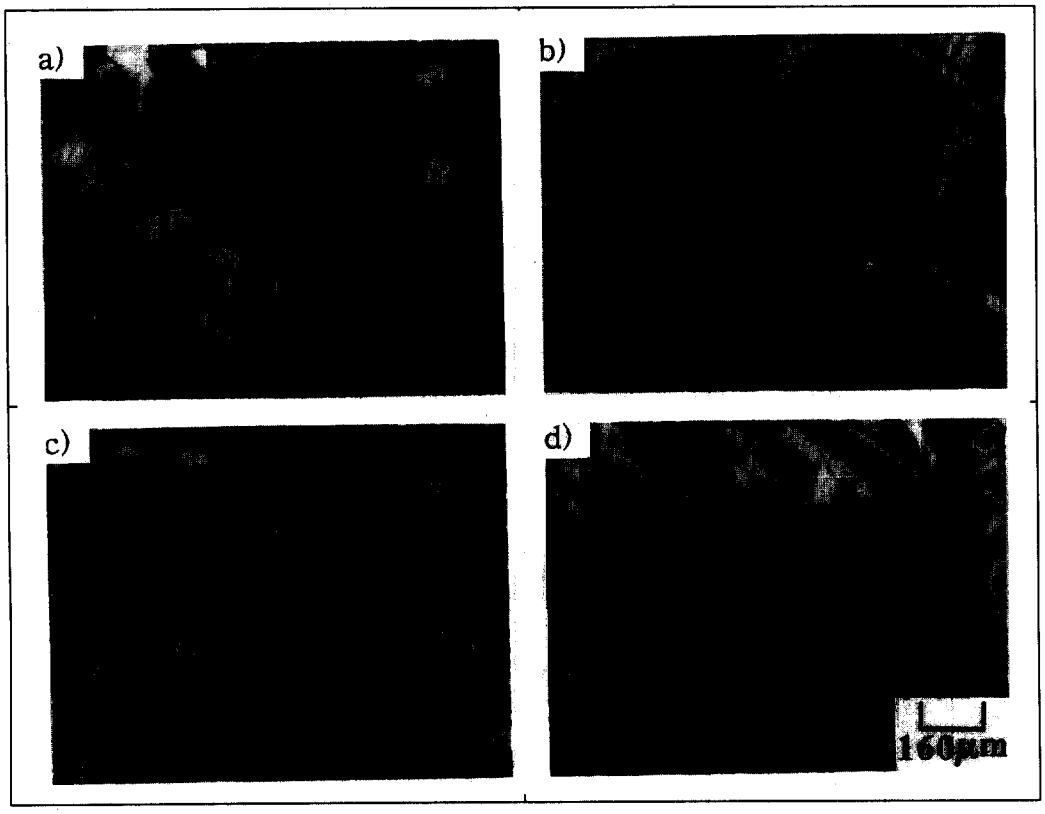


Photo 1. Microstructures of the alloys.
(a) HT-type 1 (b) HT-type 2 (c) HT-type 3 (d) HT-type 4

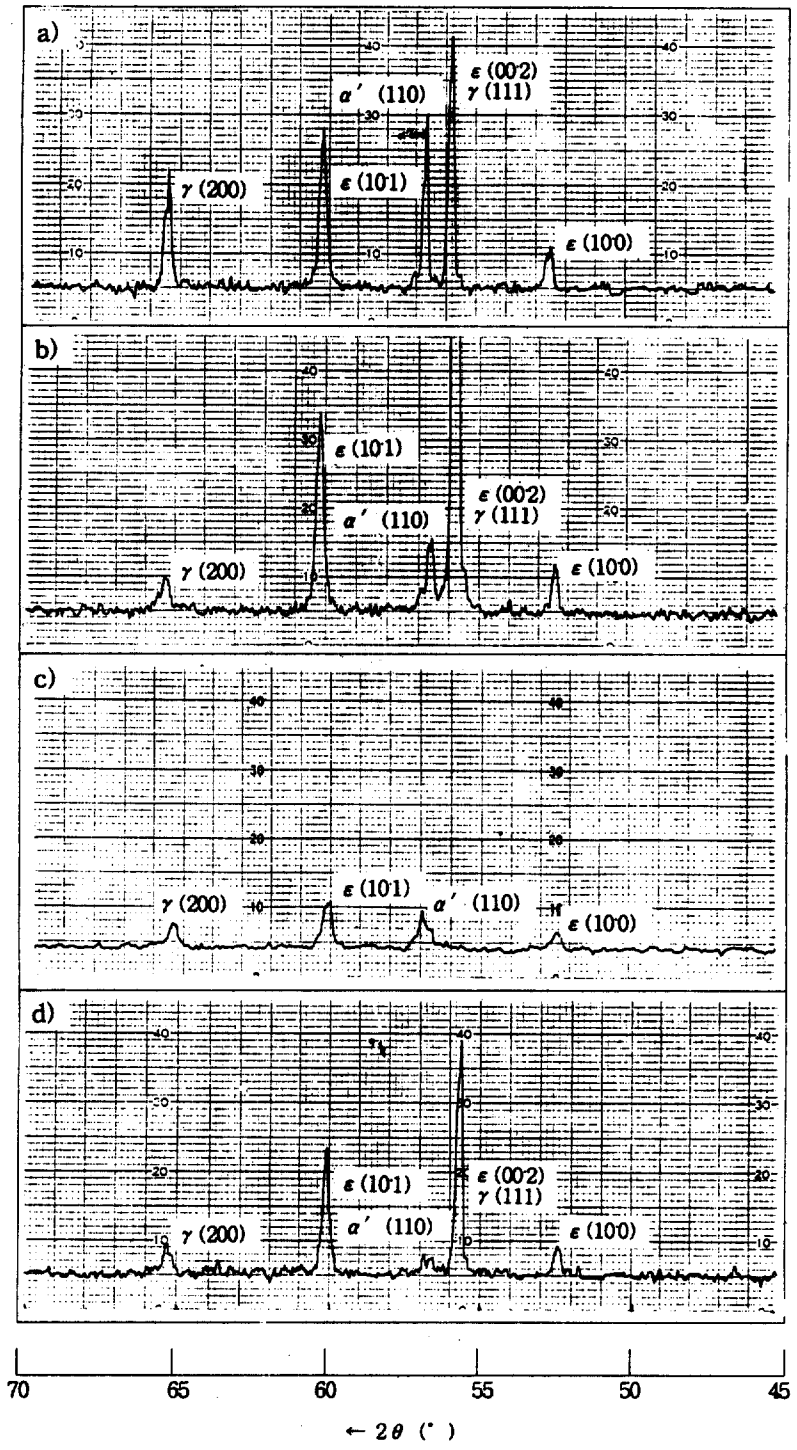


Fig. 2 X-ray diffraction patterns of the alloys.
(a) HT-type 1 (b) HT-type 2 (c) HT-type 3 (d) HT-type 4

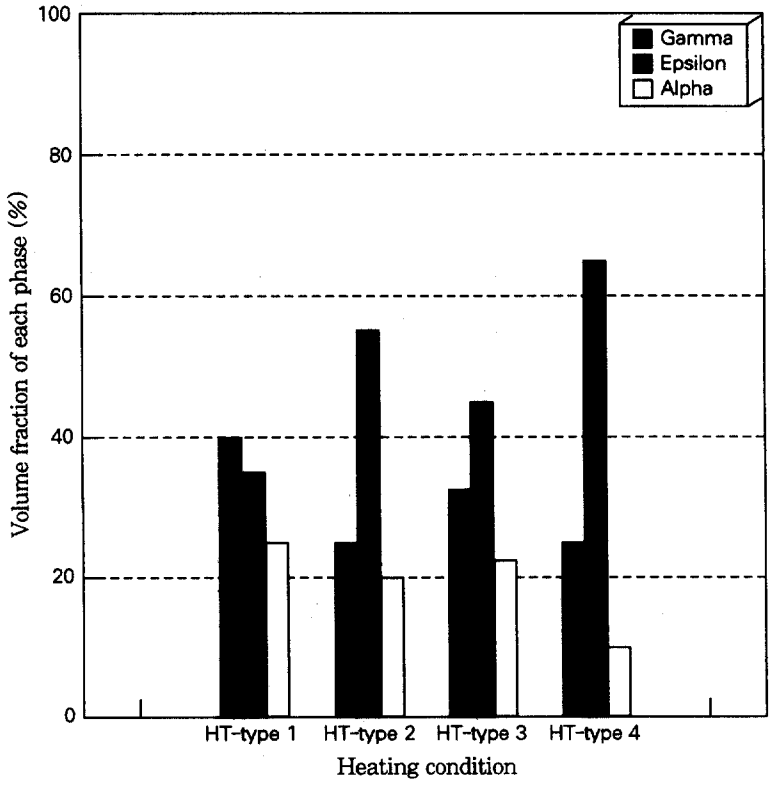


Fig. 3 Variation in volume fraction of each phase with heat treatment condition.

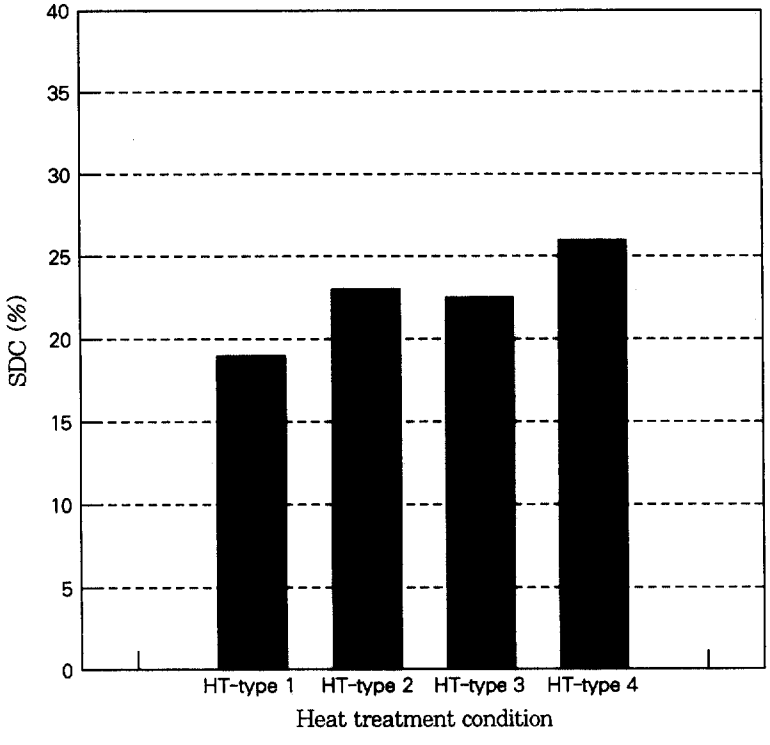


Fig. 4 Variation in specific damping capacity with heat treatment condition.

Fig. 4는 열처리 형태에 따른 감쇠능의 변화를 나타낸 것으로, HT-type 1은 ε 마르텐사이트가 적게 생성되어 γ/ε 계면이 적어 감쇠능이 낮은 반면, 용체화처리를 행한 HT-type 2는 ε량이 증가하여 즉, γ/ε 및 ε variant의 증가로 인하여 감쇠능이 높아진 것으로 생각된다. 한편, 균질화처리를 행한 후 노냉한 HT-type 3은 진동감쇠능을 저하시킨다고 생각되는 α' 량이 많아졌고 ε량은 감소하여 γ/ε 계면이 적어졌기 때문에 감쇠능이 다소 떨어졌다고 생각된다.

반면에 균질화처리 및 용체화처리를 모두 행한 HT-type 4의 경우 ε 마르텐사이트는 많이 생성되었고 α' 마르텐사이트는 감소하여 γ/ε 및 ε variant가 많아 즉 전체적인 진동감쇠원의 수가 가장 많아져 감쇠능이 가장 좋은 것으로 생각된다.

3.2 열처리 형태에 따른 기계적 성질

Fig. 5는 As-cast 상태 및 열처리 형태에 따른 합금의 인장시험결과를 나타낸 그림이다. 인장강도는 HT-type 1에서만 상대적으로 낮은 값을 보이고 있는데, 이는 주조상태이기 때문에 편석 등의 존재로 인해 취약하기 때문인 것으로 생각된다. 연신율은 열처리를 많이 할수록 증가하였는데, 이는 열처리로 인한 소둔효과와 변형중 응력유기 ε 및 α' 마르텐사이트가 용이하게 생성되기 때문이라 생각된다.

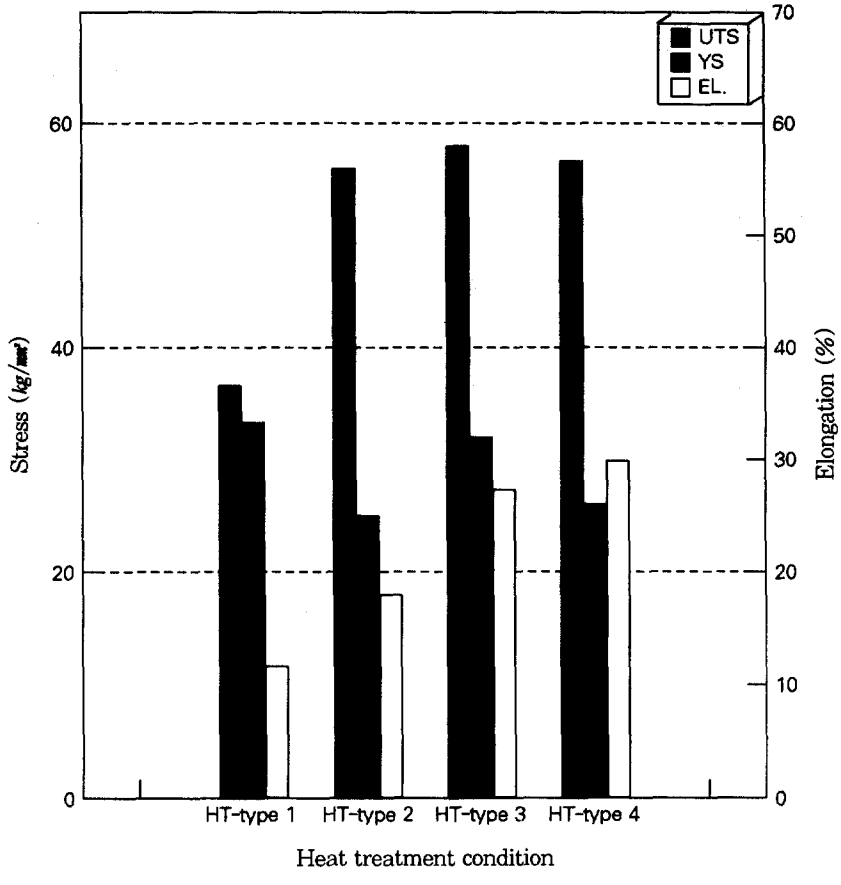


Fig. 5 Variation of tensile properties with heat treatment condition.

4. 결론

Fe-Mn 이원계 합금중에서 진동감쇠능이 가장 우수한 Fe-18wt%Mn 합금을 선정하여 주방상태 및 열처리조건에 따른 진동감쇠능 및 기계적 성질의 변화를 조사한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Fe-18wt%Mn 합금의 열처리조건을 변화시켰을 때 균질화처리 및 용체화처리를 모두 행한 열처리조건일 때가 진동감쇠능이 가장 좋게 나타났다.
2) Fe-18wt%Mn 합금을 균질화처리 및 용체화처리 했을 때 다른 열처리조건에 비해 ε 마르텐사이트량이 가장 많았고 α' 마르텐사이트는 가장 적었다. 그러나 주조상태는 가장 적은 ε 마르텐사이트량과 가장 많은 α' 마르텐사이트량을 나타내었다.
3) Fe-18wt%Mn 합금을 균질화처리만을 하거나 또는 균질화처리 및 용체화처리를 병행했을 때가 인장강도도 높고 연신율도 컸었다.

참고문헌

1. 杉本孝一 : 鐵と鋼, 14(1974), 127
2. 川邊尙志, 原改造 : 日本金屬學會誌, 44(1980), 776
3. X.W.Wang : Scripta Metallurgica, 23(1989), 507
4. 최종술, 김준동, 문인기, 백승한 : 열처리공학회지, Vol.4, 1991, No.4, 15
5. 조태희, 최종술, 유계현, 백승한 : 대한금속학회 추계발표대회 개요집, 1991, 199
6. 김정철, 최종술 : 대한금속학회 추계발표대회 개요집, 1992, 45
7. C. S. Choi, J. D. Kim, T. H. Cho, S. H. Baik and G. H. Ryu : "Damping capacities in Fe-X%Mn Martensitic Alloys", Proc. of ICOMAT-92, Monterey, California, 20~24 July, 1992
8. C. S. Choi and Woojin OSK Corp. : Korea Pat., No.5290372(1994)
9. B. L. Averbach and M. Cohen : "X-Ray drtermination of retained austenite by integrated intensities", Trans, Met. Soc., AIME, 176(1948), 401
10. J.Burke and D.W.Harvey : "Quantitative phase analysis in textured materials", J. Iron Steel Inst., 208(1970), 779
11. B.D.Cullity : "Elements of X-Ray Diffraction", 1956, 472~479, Addison-Wesley, Roading, Mass.