

송전선 강심용 고강도 인바합금의 Mo 첨가의 영향

김봉서, 유경재, 김병걸, 이희웅
한국전기연구소 신소재응용연구그룹

Effect of Mo Addition of High-Strength Invar Alloy for Core of Transmission Line

BongSeo Kim, KyungJae Yoo, ByungGeol Kim, HeeWoong Lee
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract - Invar alloys have characteristics with very low thermal expansion coefficient and low tensile strength. The mechanical properties of invar alloy have to be improved to apply for structural materials, especially for core of transmission line in electrical field. It is necessary low thermal expansion and high strength core material to transmit increased current capacity. In this paper, we investigated effect of Mo addition affected to thermal and mechanical properties and microstructure in Fe-Ni-Co ternary system

같이하여 안정한 오스테나이트 조직을 가지는 재료의 정도와 열팽창계수 및 미세조직을 관찰하였으며, 냉간압연으로 시편을 냉간가공하였으며 압연율을 약 90%까지 압연하여 재료를 가공하였다. 냉간가공된 시편의 열팽창계수, 경도와 미세조직을 관찰하여 냉간 압연에 따른 시편의 특성을 조사하였다.

1. 서 론

전류 사용량의 급증에 따라 송전용량을 증가시키기 위해 다양한 연구가 진행되고 있다. 송전용량을 증가시키는 방법으로는 전선의 성능을 개선하는 것과 송전방식을 변화시키는 방법이 있다. 송전방식의 개선에는 고전압화와 다도체화하는 방법이 있고, 전선의 성능향상에는 전선의 대구경화와 전선의 재질 및 구조를 개량하는 방법이 있다. 전선의 재질을 향상시키는 방법으로는, 송전선을 구성하는 도체와 강심의 개선이 필요하고 증용량화를 위해서는 도체의 내열성을 향상시켜야하는데 이것은 Al 도체를 합금화함으로써 고온에서의 내열성을 부여하여 고온에서 도체를 사용하고자 한다.

또한 송전선의 기계적 특성을 담당하고 있는 강심이 증용량으로 송전할 때 일반적으로 약 230℃까지 승온되기 때문에 이때 전선의 온도 증가로 인하여 강심의 열팽창이 나타나게 되어 전선의 처짐 현상이 심각한 문제가 된다.

본 연구에서는 이러한 증용량 송전선 발생할 수 있는 전선의 처짐 현상을 방지하기 위해 고강도 저열팽창 특성을 가지는 강심재료에 대한 연구로서, Fe-Ni-Co계 합금에서 Mo를 첨가할 때의 기계적 특성, 열팽창 특성 및 재료의 미세조직에 대한 연구결과를 나타내고자 한다.

2. 본 론

2.1 실험방법

본 연구에 사용된 재료는 유도용해로를 이용하여 Ar 분위기의 챔버에서 용해하였으며, graphite 몰드에 주조하여 열간단조를 하였다. 그 후에 1000℃에서 2시간 동안 Ar 분위기로 용체화처리한 후 급냉하였다. 이와

2.2 결과 및 고찰

저열팽창 특성을 가지는 인바합금 중에서 Fe-Ni 2원계 합금은 열팽창 특성은 우수하지만, 강도가 낮아서 구조재료로 사용하기에는 적합하지 않다. 그래서 Fe-Ni 합금에 Co를 첨가하여 고강도 특성을 가지는 인바합금이 대두되고 있다.

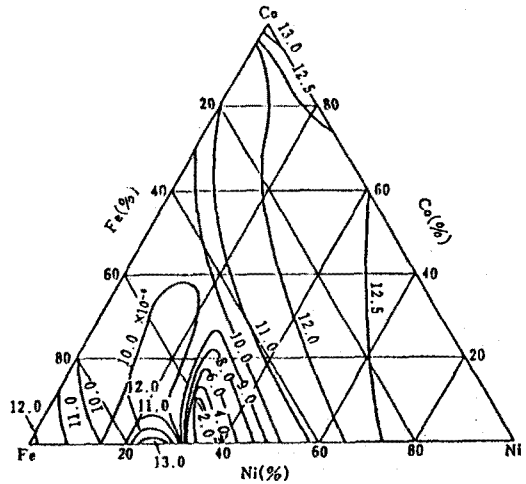


Fig. 1 Contour line of α in Fe-Ni-Co alloy

Fig. 1은 Fe-Ni-Co 3원계 합금에 있어서 열팽창계수에 대하여 등가곡선을 나타낸 것으로, Fe-Ni 2원계에 Co가 약 13%정도까지는 매우 낮은 열팽창 계수를 가지는 것을 알 수 있다. 이상의 조성에서 Ni 대신에 Co가 첨가되면 기계적 특성이 우수한 조직을 가지게 되기 때문에 강도특성이 향상될 것으로 생각된다.

또한 Ni은 오스테나이트 안정화 원소이기 때문에 Ni 양이 증가하게 되면 강도는 저하할 것으로 생각된다. 본 저자들의 이전의 연구에 의하면, Fe-30Ni-12.5Co의 조성에서 가장 우수한 열팽창 특성과 강도특성을 가지는 것을 알 수 있었다. 그래서 본 연구에서는 Fe-30Ni-12.5Co 조성을 기본으로 하여 이 합금에 Mo를 첨가하여 그 영향을 조사하였다.

Fig. 2는 Fe-30Ni-12.5Co 조성을 기본으로 하고,

여기에 Mo와 C를 각각 1%, 0.23%를 첨가하여 경도를 측정하였고, 또한 냉간압연을 약 90%까지 하여 그때 가공도에 따른 경도를 조사하였다. 냉간 압연이 되지 않은 상태 즉 용체화처리만 한 시편에서 Mo와 C가 첨가된 것이 약간의 경도 향상이 있었지만, 두 조성 모두 큰 차이는 없다. 그러나 냉간 압연을 하게 되면 두 조성 모두 경도가 증가하게 되고, 합금화된 시편은 냉간 가공 효과가 더욱 커짐을 알 수 있다.

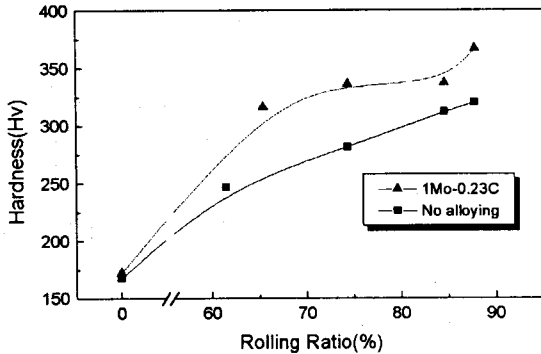


Fig. 2 Hardness change with rolling ratio

이와 같이 냉간 가공에 의해 경도가 증가하는 것은 압연에 의해 재료가 가공경화되어 경도가 증가하게 된다. 그러나 Mo와 C가 첨가된 합금은 그 증가폭이 합금원소가 첨가되지 않은 것에 비해 큰 것을 알 수 있는데 이것은 압연에 의한 가공경화 뿐만 아니라 합금화에 의해 경도가 증가한 것으로 생각된다. 냉간 가공에 의해 변형된 시편의 미세 조직을 Fig. 3에 나타내었고, 여기서도 알 수 있듯이 압연방향으로 입계가 변형되어 있는 조직이 나타나 있다.

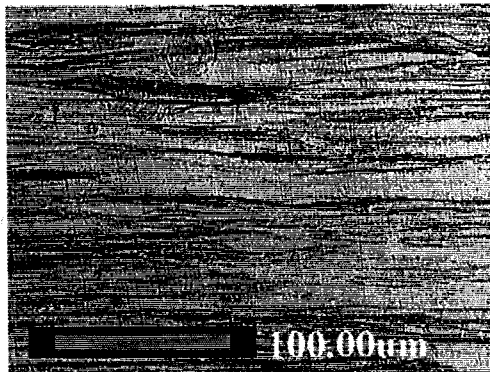


Fig. 3 Microstructure after cold rolling

위와 같이 2 종류의 조성으로 하고, 상온~300℃의 온도 구간에서 시편의 열팽창 계수(α) 측정결과를 Fig. 4에 나타내었다. 용체화 처리된 상태(압연율 0%)에서는 Mo와 C로 합금화되면 열팽창계수는 증가한다. 이것은 Mo와 C가 첨가되면 각각 기존의 Fe-Ni-Co 구조에 Mo와 C가 합금화되어 인바특성이 저하되어 열팽창계수가 증가하게 된다. 이같이 Mo와 C로 인해 열팽창 계수가 증가하는 것은 인바합금의 저열팽창 특성이 포화화 값이 큰 원소인 Fe와 Ni의 2원소의 제한적 조성범위와 다른 강자성 원소인 Co에 의해 그 특성이 나타나기 때문이며 다른 원소로 합금화시키면 열팽창계

수는 일반적으로 증가하게 된다.

그러나 이것을 냉간 압연하게 되면 열팽창 계수가 증가하고, 그 증가폭은 합금을 첨가하지 않은 재료가 보다 급격히 증가하는 반면에, Mo와 C가 첨가된 재료는 열팽창 계수의 증가 기울기가 작아짐을 알 수 있다. 이것은 합금화되지 않은 재료는 냉간 압연에 의해 matrix가 일부 변태되어 열팽창 특성이 저하하는 것으로 생각된다. 그러나 합금화된 재료는 합금화에 의해 이러한 변태가 억제되고, 또한 새롭게 생성된 화합물의 생성에 의해 열팽창계수의 증가가 크지 않게 된다.

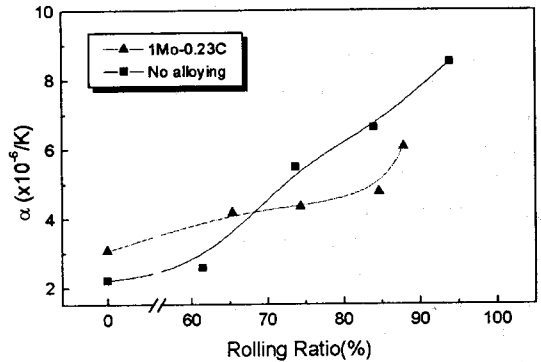


Fig. 4 Thermal expansion coefficient change with rolling ratio

Fig. 5에 압연율에 따른 재료의 X-선 회절결과를 나타내었는데 압연율이 64~93%로 변함에 따라 α 상과 γ 상의 상대 강도가 변함을 알 수 있다. 이와 같이 가공율에 따라 matrix의 상 분율이 변화되기 때문에 각각의 상이 가지는 고유한 열팽창 계수의 차이로 인하여 열팽창계수가 변화한다.

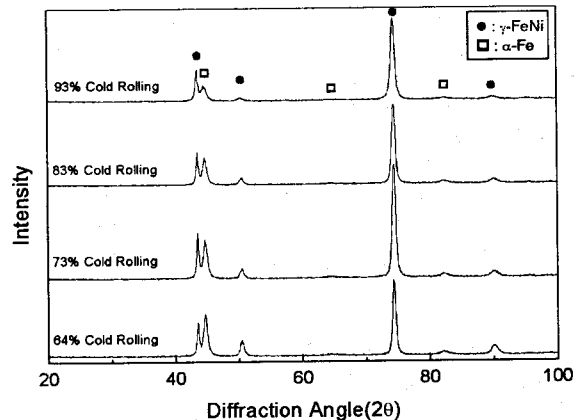


Fig. 5 XRD patterns with cold rolling

위에서 언급했듯이 합금 원소 첨가시 미세조직의 변화로 인해, 생성된 화합물이 경도와 열팽창계수에 영향을 미치기 때문인 것으로 예상되어 생성된 화합물의 존재와 그 특성을 파악하여야 한다. 이것을 위해 먼저 주사전자현미경(scanning electron microscope)으로 미세 조직을 관찰한 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

미세조직 사진에 나타나 바와 같이 같이 새로운 상이 석출되어 있는 것을 확인하였고, EDS(Energy Dispersive X-ray Spectrometer)로 분석한 결과,

Mo가 주성분인 화합물임을 알 수 있었다. 그래서 Fig. 6의 중간부분에 나타난 선에 대하여 선 분석한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 선 분석(line profile) 결과, matrix 부분에서는 Mo가 검출되지 않지만, 새롭게 생성된 석출물에서는 Mo만이 분석되었다. 위와 같이 생성된 상을 분석하기 위해 X-선 회절 실험을 하였고 이 결과를 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 8에서 1Mo-0.23C를 첨가한 경우는 기존의 γ 상과 α 상만이 확인되었고, 이 결과로부터 Mo와 C를 첨가함으로써 생성되는 상에 대한 결과를 얻을 수 없었다. 이것은 생성된 상의 양이 미량이기 때문에 X-선 회절로서 검출되지 않는 것으로 생각되어 Mo와 C의 양을 2Mo-0.97C로 하여 첨가 원소의 양을 증가시켜 X-선 회절 분석을 한 경우에는 Mo 탄화물이 분석되었다. 즉 Mo와 C를 첨가한 경우에는 Mo 탄화물이 matrix에 석출됨을 알 수 있다.

Fig. 2의 결과에서 Mo와 C를 첨가한 경우에 냉간 압연을 하면 합금원소를 첨가하지 않은 경우보다 경도의 증가가 큰 것은 가공 경화뿐만 아니라 Mo 탄화물이 석출되어 경도를 증가시키는 것으로 생각된다.

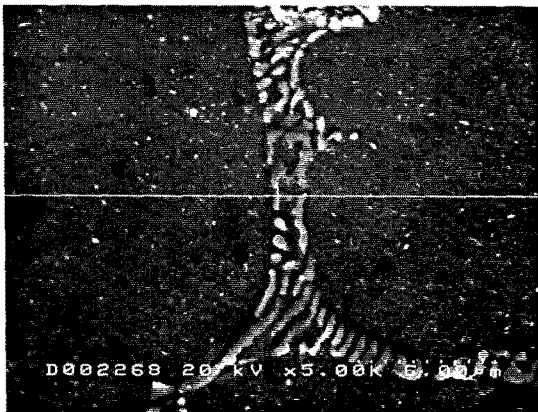


Fig. 6 SEM microscope of Fe-Ni-Co-Mo-C

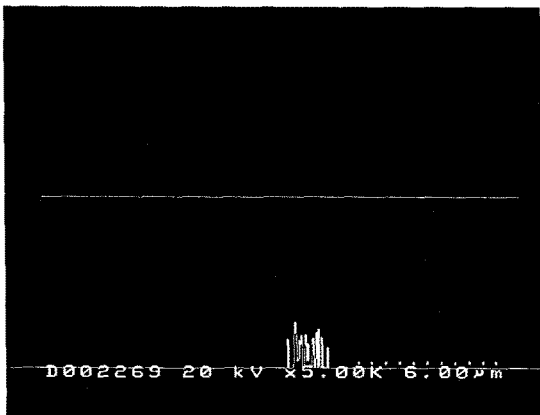


Fig. 7 Line profile analysis of Mo in fig. 6

또한 Fig. 4의 열팽창 계수의 측정 결과, 합금원소가 첨가되지 않은 경우에는 압연에 의해 조직이 소성변형되고, matrix에 존재하는 상의 변화가 일어나서 열팽창 계수가 증가하지만, Mo와 C가 첨가된 재료는 Mo 탄화

물이 형성되어 열팽창 계수의 증가가 둔화되는 것으로 생각된다. Mo 탄화물의 열팽창계수가 $7.8 \times 10^{-6}/K$ 로 작은 값을 가지기 때문에, 이것이 열팽창계수에 영향을 미치는 것으로 생각된다.

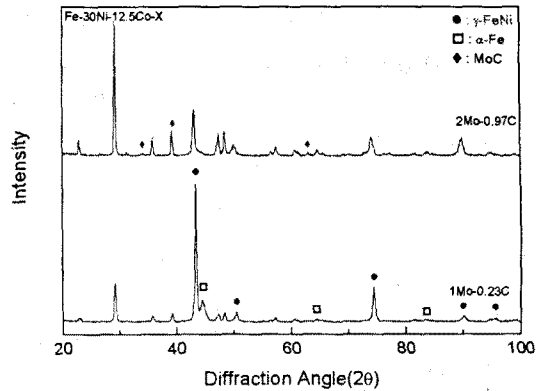


Fig. 8 XRD patterns with contents of Mo, C

3. 결론

저열팽창 특성을 가지는 인바합금의 기계적 특성을 개선하기 위하여 Fe-Ni-Co 합금에 Mo와 C를 첨가하여 열팽창 및 경도특성 과 미세 조직을 관찰한 결과 다음과 같다.

- (1) Mo와 C를 첨가하여 냉간 압연하면 경도와 열팽창 계수는 모두 증가한다.
- (2) Mo와 C를 첨가하면 용체화 처리후에는 경도에 큰 변화가 없지만, 냉간가공율이 증가하면, 경도는 증가하고, 그 증가폭이 커진다.
- (3) Mo와 C를 첨가하면, 열팽창계수는 증가하지만, 냉간가공시, 열팽창 계수의 증가 경향은 둔화된다.
- (4) 합금원소를 첨가하면 matrix에 Mo 탄화물이 생성된다.
- (5) 생성된 Mo 탄화물이 경도를 증가시키고, 열팽창계수의 증가를 둔화시키는 역할을 한다.

(참고 문헌)

- [1] C. E. Guillaume, Compt. Rend. Acad. Sci. Paris, 124, p.1515, 1897
- [2] H. Matsumoto, Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ., 20 p.101, 1931
- [3] H. Maruyama, J. Phys. Soc. Jpn, 55, 2834, 1986
- [4] B. D. Cullity, "introduction to Magnetic Materials", Addison-wesley Publishing Co.) 1972
- [5] M. Hatate, H. Sumimoto, K. Nakamura, J. Japan Inst. Metals, Vol. 54, No. 9, p.1036-1040, 1990
- [6] B. S. Kim et al, "고강도 저열팽창 인바합금에 있어서 Co 첨가의 영향", 1999년 대한전기학회 하계학술대회는문집 D, p.1901-1903, 1999
- [7] ASM "Engineered Materials Handbook", 1995, Desk Edition, p.963