

증용량 송전선 강심용 저열팽창 Fe-Ni-Co 합금에 있어서 용체화처리 영향

Effect of Heat-treatment in Low Thermal Expansion Coefficient Fe-Ni-Co alloy
for Core Material of Increased Capacity Transmission Line

김봉서*, 유경재, 김병걸, 이회웅(한국전기연구소)
Bong-Seo Kim, Kyung-Jae Yoo, Byung-Geol Kim, Hee-Woong Lee
(Korea Electrotechnology Research Institute)

Abstract

Considering the effective distribution coefficient of Ni in Fe-Ni-Co invar alloy containing a little amount of carbon, we investigated on the thermal expansion coefficient(α). Fe-Ni-Co invar alloy had a large thermal expansion coefficient in as-casted compared with solution treated. The thermal expansion coefficient of Fe-Ni-Co alloy increased with the carbon content in both state of as-casted and solution treated. The effective distribution coefficient(k_e^{Ni}) of Ni was smaller than unity in alloy of not containing carbon, but it was larger than unity in alloy of containing carbon. It was considered that the homogeneity of Ni in primary austenite affected thermal expansion coefficient

Key Words(중요용어) : 저열팽창 인바합금, 송전선 강심, 용체화처리, Fe-Ni-Co 합금, 고강도 인바합금

1. 서 론

최근 전력 수요의 급격한 증가로 인하여 송전량의 증가가 요구되고 있다. 이러한 송전량의 증대를 위해 다양한 방향의 연구가 진행되고 있으며, 그 방법 중의 하나가, 고내열 특성을 가지는 송전선을 이용하여 송전용량을 증가시키는 것이다. 이때 전선의 온도가 약 230℃ 정도로 증가하게 되어 도체와 강심에 많은 열적 부하를 가하게 된다. 도체로 사용되는 Al 합금은 내열특성을 가지고 있어야 하고, 또한 송전선의 기계적 하중을 담당하는 강심은 고온 강도뿐 만 아니라, 증용량 송전시(230℃ 이상) 송전선의 처짐(이도)문제를 해결하기 위해 열팽창 계수가 매

우 낮아야 한다. 현재 사용중인 탄소강은 기계적 특성은 우수하지만, 표 1과 같이 열팽창계수가 약 $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 정도로 크기 때문에 다른 재료로의 대체되어야 한다. 현재 송전선 강심으로 사용하고 있는 탄소강의 대체 재료로 인바합금이 응용되고 있고 특히 고강도 특성을 가지는 인바합금이 요구되고 있다.

표 1 각종 금속의 열팽창 계수⁽¹⁾

재료	열팽창 계수($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)
Mg alloy	28~29
Al alloy	19~23
Austenite stainless Steel	20
Gray cast iron	11~12
Steel	11~12
Invar	1~2

현재 사용중인 인바합금은 기존의 Fe-36Ni 합금에 미량의 합금화 원소를 첨가하고 가공경화시켜 강

*한국전기연구소 신소재응용연구그룹
경남 창원시 성주동 28-1
Fax : 0551-280-1590
(E-mail : bskim@keri.re.kr)

도를 개선시키고 있다. 그러나 Fe-Ni 2원계 합금에 대한 연구⁽³⁾는 많이 진행되어 왔지만, 강도에 제약이 있는 실정이다. 그러나 최근에 개발되어진 Fe-Ni-Co 3원계 합금은 고강도 특성을 가지고 있을 뿐만 아니라 저열팽창 특성도 우수하기 때문에 이 합금에 대한 연구⁽⁴⁾가 적극적으로 진행되고 있다.

본 연구에서는 Fe-30Ni-12.5Co 3원계 합금에 탄소를 일정량 첨가하고, 이 재료에 있어서 용체화 처리에 대한 기본 영향을 이해하기 위해 주조된 재료와 용체화 처리된 재료의 열팽창 계수 및 미세조직 및 열팽창 계수에 영향을 미치는 Ni편석을 조사하였다.

2. 실험 방법

전해철, 니켈, 코발트를 사용하여 Fe-30Ni-12.5Co를 기본 조성으로 하고, 여기에 탄소를 약 2.5wt%까지 첨가하였다. 각각의 시료는 2kg씩 진공유도용해로(VIM)에서 탈산처리를 하여 용해한 후, 각형의 몰드에서 주조하여 주조재를 제조하였다. 이를 Ar 가스 분위기의 1000℃에서 2hr 동안 용체화 처리하여 각각의 용체화 처리 시편을 제조하였다. 이상과 같이 제조된 시편에 대하여 TMA(Thermo-Mechanical Analyser)를 이용하여 50℃~300℃의 온도범위에서 열팽창계수(Thermal Expansion Coefficient, α)를 측정하였다. 미소경도기로 경도값을 측정하였다. 열팽창계수를 상온에서 측정하지 않은 것은, 증용량 송전선의 실제 송전시 온도를 충분히 고려하여(순시 온도, 단시간 온도, 연속온도) 큐리온도(T_c) 이하인 50℃~300℃까지의 범위에서 열팽창 계수를 측정하였다. 또한 주조 상태와 용체화 처리후의 시편의 미세조직을 광학현미경으로 관찰하였으며, 용체화처리 전후의 Ni의 농도의 변화를 EDS(Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy)로 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1에는 주조재와 용체화 처리재의 열팽창 계수를 측정한 결과를 나타내었다. 이 결과에 나타나 있듯이 초기에 주조 상태보다는 용체화 처리되어 있는 시편에서 열팽창 계수가 낮아졌음을 알 수 있다. 또한 탄소가 첨가되지 않은 시편의 열팽창계수는 주조상태에서 $6.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 로 매우 높았지만, 용체화 처리를 하게 되면 $6.2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 로 약간 감소하게 되었다. 그러나 탄소의 양을 0.1wt%이 증가하면 열팽창 계수는 급격히 감소하여 주조재에서는 $3.2 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 의 값을 나타내고, 용체화 처리재에서는 $2.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 의 매우 낮은 값을 가지고 있었다. 그러나 탄소의 첨가

량이 증가하게 되면 약 0.5wt%까지는 급격히 증가하다가 0.5% 이상에서는 완만하게 증가하게 된다. 이와 같이 열팽창 계수가 탄소의 양에 따라 달라지는 것은 기존의 Fe-Ni 합금과 유사한 특성을 가지고 있다. 즉 탄소의 양이 증가할수록 열팽창계수가 증가하는 특성과 유사한 결과를 나타내고 있다.⁽⁵⁾ 그러나 일반 탄소강에서는 탄소의 양이 증가할수록 열팽창 계수가 감소하는 것과는 다른 경향을 보이고 있다. 이것은 탄소강에서는 인바 특성이 나타나지 않기 때문이며, 인바 특성을 나타내는 인바합금(Fe-Ni 합금)과는 비슷한 특성이 확인되었다.

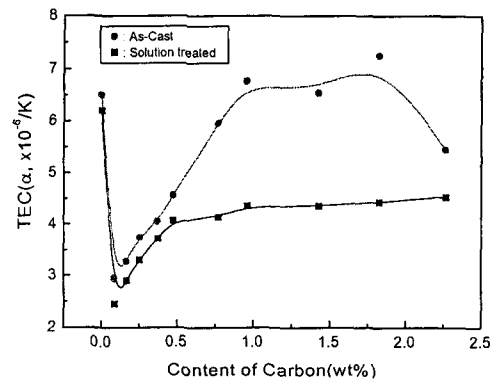


Fig. 1 Variation of thermal expansion coefficient of as-casted and solution-treated material

탄소가 첨가되지 않은 시편과 0.1wt%C 첨가 시편의 큰 열팽창 계수의 차이는, Fig. 2에 나타나 있는 Fe-Ni-Co 합금의 열팽창 계수 등가곡선에서도 알 수 있듯이, Ni의 조성에 의해 크게 영향을 받기 때문에 Ni 조성이 미량 변화여도 열팽창계수가 급격히 증가하기 때문으로 생각되어진다.

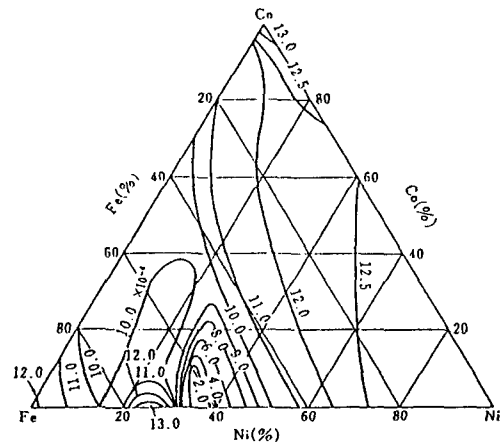
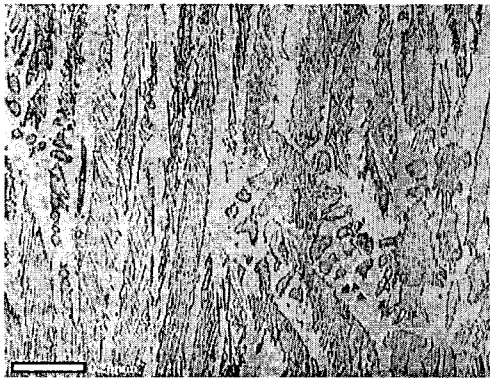
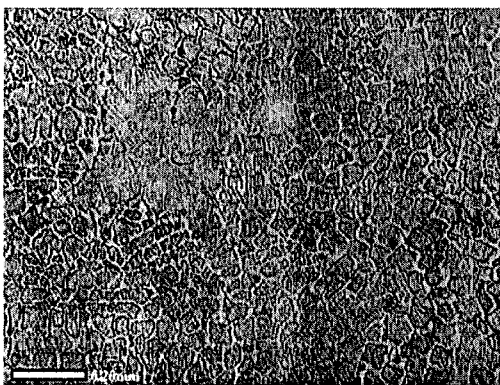


Fig. 2 Contour line of α in Fe-Ni-Co alloy

또한 이와 같이 동일 조성에서 주조상태와 용체화 처리 시편의 열팽창 계수가 변하는 것은 일반적으로 Ni의 조성 균일도에 의해서 결정되는 것으로 알려져 있다. Fe-Ni 2원계 합금에서는 실효분배계수 ($ke^{Ni} = Cs^{Ni}/Co^{Ni}$)를 이용하여 측정된 결과⁽⁵⁾, 주조상태에서 초정 dendrite내의 Ni 양(Cs^{Ni})과 용체화 처리 후의 오스테나이트 조직에서의 Ni 양(Co^{Ni})과 비교하면, 탄소가 첨가되지 않으면 초정 dendrite보다 오스테나이트에서 Ni 농도가 높고, 즉 실효분배계수(ke^{Ni})가 1보다 작고, 탄소가 첨가되면 역으로 실효분배계수가 1보다 크게 된다. 탄소의 첨가로 인하여 초정 dendrite에서 Ni의 농도가 높아져 열팽창 계수에 영향을 미치게 된다. 열팽창 계수를 낮게 하기 위해서는 Ni의 농도 균일성이 확보되는 용체화 처리에서 보다 안정한 특성을 나타냄을 알 수 있다.



(a) as-casted



(b) Solution-treated

Fig. 4 Microstructure of Fe-30Ni-12.5Co-0C

Fig. 3은 탄소를 첨가하지 않은 주조 상태의 시편으로 초정 dendrite가 관찰되어졌고, 이것을 용체화

처리하게 되면 Fig 4와 같이 안정한 오스테나이트 조직이 얻어진다. 탄소가 첨가되지 않은 경우에 있어서 실효분배계수는 0.96이었고, 0.5%C 합금에서는 1.06의 값을 가지고 있었다. 이것은 Fe-Ni 2원계 합금과 유사한 결과를 나타내는 것으로 탄소의 첨가로 인하여 주조상태에서 초정 dendrite에서 Ni의 농도가 증가하게 되어 Ni의 조성 균일도가 용체화처리보다 낮게 되어 열팽창 계수는 용체화처리 시편이 더 낮은 값을 가지게 된다.

4. 결론

송전선 강심으로 사용되는 고강도 인바합금인 Fe-Ni-Co 합금에 탄소의 양을 변화시키면서 주조상태와 용체화 처리된 시편을 조사한 결과는 다음과 같다

- (1) 탄소의 양이 증가할수록 주조상태와 용체화 처리 상태에서 열팽창계수는 탄소의 첨가량에 따라 증가하였다.
- (2) 용체화 처리에 의해 열팽창계수는 감소하였다.
- (3) 탄소가 첨가되지 않은 합금에서는 Ni의 실효분배계수가 1보다 작지만, 탄소가 첨가된 합금에서는 1보다 큰 값을 가졌다.
- (4) 탄소의 첨가에 의해 초정 dendrite에서의 Ni 농도는 증가하였고, 초정 오스테나이트에 고용하기가 용이하였다.

참고 문헌

- [1]. 木夏本新一 : 素形材, 29, 1989, 16
- [2]. D. D. Johnson, F. J. Pinski, J. B. Stauton, B. L. Gyorffy, G. M. Stocks : Physical Metallurgy of Controlled Expansion Invar-Type Alloys, Kenneth C. Russel, Darrel F. Smith, TMS, 1989, p.4.
- [3]. 문병문, "인바형 저열팽창 주조재료의 개발 및 활용 현황", 대한금속학회회부, 12권 2호, pp24 5~250, 1999. 4.
- [4]. K. Sato, T. Ohno, Y. Masugata, N. Shimada, H. Shiga "送電線用新高强度低熱膨脹合金線", 日立金屬技報, Vol. 12 1996, p.49
- [5]. M. Hatate, H. Sumimoto, K. Nakamura "Influence of Carbon and Nickel on Linear Thermal Expansion Coefficient in Low Thermal Expansion Fe-Ni-C alloys", 日本金屬學會紙, Vol. 54, No. 9, 1990, p.1036-1040