

가공송전선용 고질소강의 시효시간에 따른 기계적 특성의 변화

김봉서, 유경재*, 권해웅*, 이희웅, 김병걸
한국전기연구소, 부경대학교 재료공학과*

Mechanical Properties with Aging Time in High Nitrogen Steel for Transmission Line

Bongseo Kim, Kyungjae Yoo*, Haewoong Kwon*, Byunggeol Kim
Korea Electrotechnology Research Institute, Pukyong National University*

Abstract - In order to study the mechanical properties of high nitroren steel with ageing time, hardness, tensile stress several basic properties of Fe-Mn-Cr-Ni-N steel have been studied. With increasing partial pressure of nitrogen and ageing time to 10h, hardness and tensile stress are increased, but decreased beyond 10h because of over ageing. It is considered that the main factor related with mechanical properties is carbide precipitate, M_7C_3 which is precipitated with ageing time in matrix and optimum ageing time is 10h in 60 $^{\circ}C$.

1. 서 론

가공 송전선의 용량을 증가시키는 방법으로는 도체의 단면적을 증가시키거나 다도체화하는 방법과 전선의 사용온도를 높여 허용전류용량을 증가시키는 방법 등이 있다. 이와 같이 송전용량을 증가시키기 위해서는 송전선 강심의 강도 향상이 필수적이다. 전선의 사용온도를 높여서 허용전류용량을 증가시키기 위해 강심으로 저열팽창성 인바합금이 대두되고 있고, 송전선의 크기를 대형화하거나 다도체화하는 방법에 있어서 고강도 강심재료의 가능성을 가지고 있는 재료가 고질소강이다.

고질소강은 비자성을 띄고 있으며 강도도 기존의 스테인레스 강보다 월등히 우수하며, 공업적으로 매우 중요한 재료중의 하나로서 송전선의 강심으로의 사용가능성에 대한 연구가 일부에서 진행되고 있다.

본 연구에서는 기존의 가공송전선 강심으로 사용되는 탄소강의 대체 재료로 고강도, 비자성 및 내식성을 가지는 고질소강으로, 질소를 약 0.7%까지 함유시켜 진공 유도용해하여 제조하였다. 고질소강은 냉간가공에 의해 기계적 특성을 향상시키는 가공경화형 합금이지만 본 연구에서는 냉간가공을 하지 않고, 시효에 대한 영향을 조사하기 위하여 600 $^{\circ}C$ 에서 1000시간까지 시효처리를 하여 강심으로서 요구되는 기계적 특성이 시효처리에 대하여 어떠한 영향을 받는지를 조사하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서는 고질소강의 제조를 위해 가스압입 진공유도용해로를 이용하였다. 고질소강의 성분과 농도는 이론 상태도를 이용하여 계산된 결과를 이용하였으며, 본 연구에 사용된 조성은 Mn을 25wt%, Cr을 12wt%로 하였고, Ni은 1wt%로 최대한 억제하였다. 고질소강의 조성을 Fe-25Mn-12Cr-1Ni-xN으로 하였다.

용해는 질소 분위기에서 행하였으며, 질소 분압은 0, 1, 1.5, 2기압으로 단계별로 변화시켜 용해하였고, 원료가 용해된 후 용탕을 충분히 교반시켜 용탕을 흑연볼드에 부어 주조하였다.

용해한 고질소강의 성분분석은 ICP(inductively coupled plasma)를 이용하였고, 질소농도 분석은 질소 가스분석기를 이용하였다.

용해하여 주조한 고질소강의 조직 치밀화와 후가공을 위해 열간(1050 $^{\circ}C$) 단조를 하였고, 이 공정 후에 열간 압연(1100 $^{\circ}C$)을 하여 인장시험용 시편을 가공하였고, 1000 $^{\circ}C$ 에서 2시간동안 진공에서 용체화처리를 하였다. 또한 시효에 대한 영향을 조사하기 위하여 600 $^{\circ}C$ 에서 1000시간까지 시효처리를 하였으며, 이때 생성되는 석출물의 상을 확인하기 위하여 X-선 회절실험을 하였고, 이때의 미세 조직을 주사전자현미경(SEM)으로 관찰하였다. 경도와 인장강도를 측정하여 시효 처리에 대한 재료의 기계적 특성을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

표 1은 주조된 고질소강 모합금의 성분을 분석한 결과로서, 질소 분압이 증가함에 따라 주조된 모합금 중의 질소 농도가 증가함을 알 수 있다. 그림 1에 질소 분압에 따른 질소 농도의 변화를 나타내었다.

Table 1 Analysis result of cast alloys(wt%)

	Fe	Mn	Cr	Ni	N	C	Si	P_{N_2} (atm)
A	Bal.	26.1	12.5	0.99	0.04	0.05	0.98	0
B	Bal.	26.9	12.3	1.03	0.51	0.03	0.79	1
C	Bal.	27.8	12.1	1.06	0.58	0.03	0.79	1.5
D	Bal.	25.0	12.4	1.05	0.67	0.03	0.92	2

금속-가스계 합금에서 가스 성분의 농도는 일반적으로 가스 분압의 평방근에 비례하는 관계인 Sievert의

관계로 나타난다. 이 그림에서 알 수 있듯이 본 연구에서 사용하는 고질소강 합금에서도 질소 분압이 증가함에 따라 질소 농도는 가스 분압의 평방근에 대하여 직선적인 관계를 나타내고 있는 것으로, Sievert의 법칙을 잘 만족하고 있음을 알 수 있다.

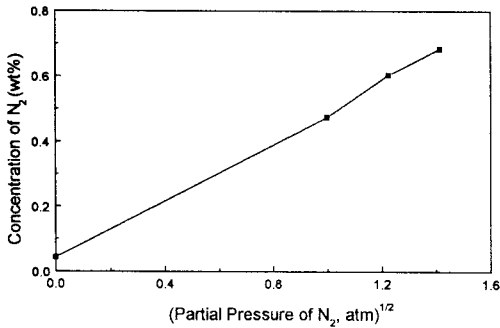


Fig. 1 Variations of concentration with partial pressure of N₂

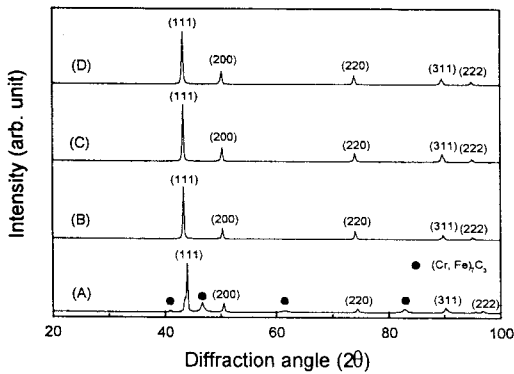


Fig. 2 X-ray diffraction patterns of high nitrogen steel after solution treatment

또한 1000°C에서 용체화처리한 고질소강의 X-선 회절결과를 그림 2에 나타내었다. 질소가 용해되어 있지 않은 시편(A)은 오스테나이트 상 이외에 탄화물상(M₇C₃)이 존재하지만 용해시 질소를 충전하여 용해한 재료(B, C, D)에서는 순수한 오스테나이트 상만이 관찰되고 있다. 기존의 보고에 의하면, 질소가 오스테나이트에 용해될 때 질소 원자의 대부분이 단원자 상태로 용해되어 들어가게 되고, 극히 일부만 질화물 상태로 존재한다고 보고되고 있다. 그래서 질소가 오스테나이트 안정화 원소로 작용하여 고질소강은 전형적인 오스테나이트 구조를 가지게 된다.

그림 3에는 질소 분압과 시효시간을 변화시켜 이때의 경도를 측정된 것으로서, 용체화처리된 시편과 용체화처리 후에 600°C에서 1000시간까지 시효처리한 시편의 경도(Vickers 경도)를 나타내었다. 질소가 용해되어 있는 시편은 재료를 함유하지 않은 시편보다 경도가 최소 50%이상의 값을 가지고 있으며 질소 분압이 클수록 높은 경도치를 나타내고 있다. 이것은 질소가 재료내에

서 단원자 상태로 존재하고, 침입형 원소로 작용하여 침입형 고용체를 형성함으로써 경도의 증가를 초래하고 있다. 또한 시효시간이 10시간까지는 경도가 증가하지만 10시간 이상이 되면 경도가 감소함을 알 수 있다. 이것은 600°C에서 시효처리를 하게 되면 일정시간 즉 10시간까지는 재료내에서 미세한 석출물이 생성되어 경도를 증가시키지만 시효시간이 일정시간 이상이 되면 과시효가 진행되어 경도는 감소하게 된다. 본 연구에서와 같이 질소의 양이 약 0.7%까지의 고질소강에서는 시효를 600°C에서 하는 경우 그 최대 시간은 약 10시간임을 알 수 있다.

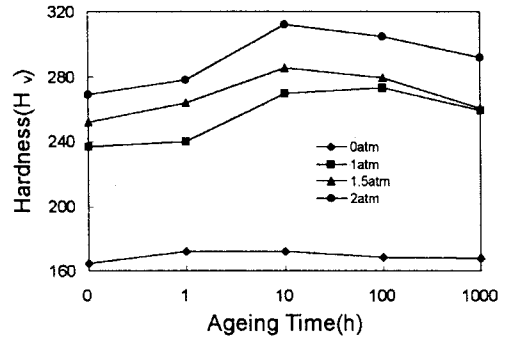


Fig. 3 Relationship of ageing time and hardness with partial pressure of N₂

그림 4에는 질소분압과 시효시간에 대하여 인장강도를 측정된 것으로서, 경도치와 유사한 경향을 보이고 있다. 즉 질소 분압이 클수록 질소가 매트릭스내에 고용강화가 많이 되어 인장강도도 증가하고 있으며, 시효시간이 약 10시간에서 강도가 최대치를 나타내고 있다. 그러나 인장강도값은 시효시간이 1시간 이상부터 10시간까지는 거의 일정한 값을 가지고 있다. 이것은 시효에 의해 석출된 석출물이 강도에는 빠른 시간안에 직접적인 영향을 미치지 않지만 경도에는 강도보다 약간 지체되어 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 그러나 시효가 경도와 강도에 미치는 영향은 유사함을 알 수 있다.

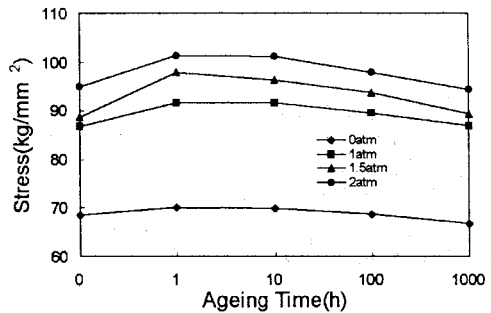


Fig. 4 Relationship of ageing time and tensile stress with partial pressure of N₂

이상에서 알 수 있듯이 시효를 진행시키게 되면 약 10시간까지는 경도와 강도가 증가하게 되고, 과시효 시 기계적 특성치가 감소하는 원인을 조사하기 위해 각 시

효시간 별로 X-선 회절실험을 하였다. 그림 5에는 600°C에서 1000시간 시효시킨 XRD 결과를 각 질소분압에 대하여 나타내었다. 용체화 처리만을 한 시편(그림 2)은 질소가 없는 시편 만이 탄화물(M_7C_3)과 오스테나이트 상이 공존하고 있었지만 질소가 용해되어 있으면 순수한 오스테나이트 상만이 존재하였다. 그러나 1000시간 시효를 하게 되면 모든 질소 분압에서 다 탄화물이 발견됨을 알 수 있다. 즉 시효처리에 의해 탄화물이 석출되어 기계적 특성에 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 시효초기에는 석출물의 양이 적고 그 크기도 작기 때문에 XRD에 검출이 되지 않지만, 시효 시간이 매우 길면 XRD로 확인이 가능할 정도의 매우 큰 석출물이 형성되어진다. 이와 같이 생성된 석출물의 확인하기 위하여 주사전자현미경(SEM)으로 조직을 관찰하였다.

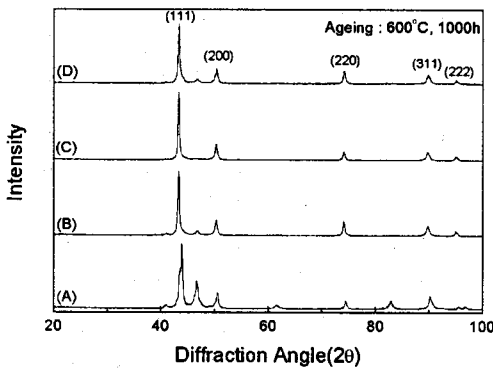


Fig. 5 X-ray diffraction patterns of high nitrogen steel after 1000hr ageing

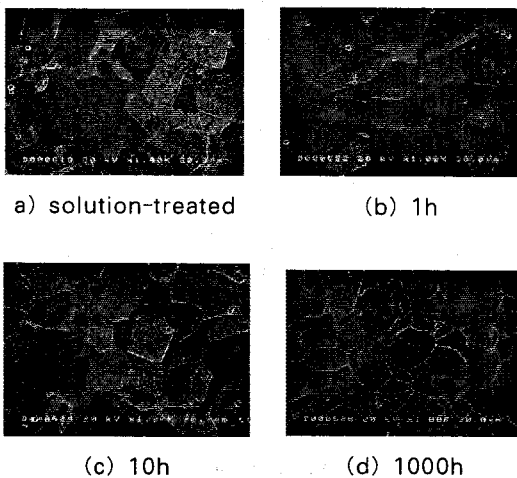


Fig. 6 SEM micrographs of high nitrogen steel with ageing time at 600°C ($P_{N_2}=1.5atm$)

(a) solution-treatment (b) 1h
(c) 10h (d) 1000h

각 시효시간별로 미세 조직을 관찰한 것을 그림 6에 나타내었다. 각각의 미세 조직은 전형적인 오스테나이트 조직을 나타내고 있다. 그러나 시효 시간이 증가하게 되면 입계에서 새로운 조직이 발견이 되고 있으며 시효시간이 1000시간에서는 새롭게 생성된 석출물이 매우 조대하게 성장해 있음을 알 수 있다. 그러나 1시간과 10시간에서 그 형상과 위치를 알기가 어려운 것은 석출물이 매우 미세하게 때문에 주사전자현미경으로는 관찰이 되지 않고 있다. 경도와 인장강도 결과에서 알 수 있듯이 시효시간이 10시간까지는 경도와 강도가 증가하고 있으며, 10시간 이상에서 기계적 특성치가 감소하는 것은 매트릭스에 생성되는 석출물의 크기가 일정 이상이 되어 경도와 강도가 감소하게 되어진다.

4. 결 론

가공송전선용 강심재료로 응용 가능성이 높은 고질소 강을 제조하여 전기적 응용에 앞서 재료의 기본 특성 파악을 위해 시효처리를 한 결과 다음과 같다.

본 연구에서는 Fe-25Mn-12Cr-1Ni-xN 합금을 기본 조성으로 하여 가압형 진공 유도로를 이용하여 질소의 농도를 6700ppm까지 함유시켜 주조하고, 열간 단조와 용체화처리한 시편을 1000시간까지 시효처리하여 기계적 특성을 조사하였다.

- (1) 질소의 농도는 용해시 질소가스의 분압의 평방근에 비례하는 Sievert의 관계식을 만족하고 있다.
- (2) 재료의 경도와 강도는 질소의 농도가 증가함에 따라 증가한다.
- (3) 600°C에서 10시간까지의 시효처리를 하면 기계적 특성은 향상되지만 10시간 이상이 되면 과시효에 의해 경도와 강도는 감소한다.
- (4) 시효처리에 의해 기계적 특성치가 변하는 원인은 시효에 의해 입계를 중심으로 탄화물(M_7C_3)이 석출되는 것에 기인한다.

(참 고 문 헌)

- [1] H. Berns and J. Lueg "Proc. 1st High Nitrogen Steels", Lilly, 322, 1988
- [2] M. Diener "Proc. 2nd High Nitrogen Steels", Aachen, 405, 1990
- [3] G. Stein et al. "Proc. 2nd High Nitrogen Steels", Aachen, 399, 1990
- [4] R. Pedrazzoli and M. Speidel "Proc. 2nd High Nitrogen Steels", Aachen, 208, 1990
- [5] 裴東樹, "低放射能化 高Mn austenite 鋼의開發に關する 基礎的 研究", 名古屋大學工學博士學位論文, 1994
- [6] J. Menzel and G. Stein : Proc. 3rd High Nitrogen Steels, Kiev, 572, 1993
- [7] 김병걸, 김봉서, 유경재, 권해웅, 이희용 "Fe-Mn-Cr-Ni 계 오스테나이트 스테인레스강에서의 질소의 용해거동", 대한 금속학회지, Vol 37, No. 2 (1999).