

가공 송전선 강심용 고질소강 주조재의 제특성

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

Properties of As-casted High Nitrogen Steel for
 Core of Over-head Transmission Line

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

Abstract - As-casted high nitrogen alloys (Fe-25%Mn-12%Cr-1%Ni) have been investigated to study core material. Nitrogen concentration in molten alloys was increased with increasing the square root of nitrogen gas pressure in melting chamber. This result can be explained by Sievert's law. Nitrogen that dissolved as a interstitial solid solution element in austenite stainless steel increased lattice parameter and hardness. Electric resistivity(ρ) was increased with increasing nitrogen concentration and was about $80\mu\Omega\text{cm}$ at room temperature. Coefficient of linear thermal expansion of the nitrogen steel was about $22 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$.

하였다. 이 때 고농도의 질소를 함유한 합금을 얻기 위해 원재료는 질화크롬 합금철을 사용하였으며 질소의 분압을 0기압, 1기압, 1.5기압, 2기압으로 변화시켜 다양한 농도의 질소를 함유하는 고질소강을 제조하였다. 제조된 합금의 성분분석은 ICP를 사용하였으며 질소의 분석은 가스분석기를 사용하였고 분석결과를 표 1에 나타내었다.

주조상태에서의 제특성 평가를 위하여 광학현미경으로 조직관찰을 하였으며 X-선 회절기(XRD)를 사용하여 상분석을 하였다. 그리고 로크웰 경도기(H_{RA})를 사용하여 경도를 측정하였다. 재료의 열적특성은 열분석기(TMA)를 사용하여 선열팽창계수(ASM E 831-93)를 측정하였고, 온도에 따른 재료의 상변태를 조사하기 위해 전기비저항-온도특성시험(KS C 2608)을 하였다.

1. 서 론

가공 송전선은 그 특성상 비중이 작고 전기전도도가 우수한 알루미늄선과 철탑사이에서 걸리는 하중을 지지하고 강도를 유지하기 위해 내부에는 탄소강으로 된 강심재로 구성되어 있다. 그러나 기존의 강심재로 사용되고 있는 탄소강은 기계적 특성과 내식성에 제약을 받고 있으며 아울러 자성을 띄기 때문에 와전류에 의한 철손이 발생하여 전력수송의 효율을 떨어뜨린다. 이러한 이유로 고효율의 전력수송을 위해서는 기존의 강심재에 대한 개선이 필요하며 대체 강심재로서는 기계적 성질이 우수하고 비자성 특성을 나타내는 재료가 요구된다.

비자성이면서 내식성이 우수한 재료로서는 오스테나이트계 304 스테인리스강이 있으나 고가인 니켈을 8%정도 함유하고 있어 강심재로서의 경제성이 떨어진다. 때문에 본 연구에서는 고가인 니켈을 대신하여 상대적으로 저가이면서 오스테나이트 안정화 원소인 망간과 질소를 다량으로 첨가하여 비자성 특성을 나타내면서 기계적 성질이 우수한 오스테나이트계 고질소강을 제조하여 대체 강심재로 연구하였다.

고질소강에 대한 연구는 전세계적으로 아직 초기연구 단계에 있으며 고농도의 질소를 첨가하기가 용이하지 않다. 따라서 본 연구에서는 대체 강심재로서의 고질소강에 대한 기본적인 특성을 알아보기 위해 고질소강 주조재에 대한 제특성을 조사하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

본 연구에서 사용된 합금은 망간을 다량으로 함유하여 비자성특성을 가지는 Fe-25%Mn-12%Cr-1%Ni을 기본조성으로 하는 오스테나이트계 스테인리스강이다.

합금의 제조는 가압형 진공유도용해로(VIM)를 사용하여 제조하였으며 초기진공을 6×10^{-5} torr로 한 후 청정을 위해 아르곤 가스를 대기압까지 주입하였고 다시 2차진공을 6×10^{-5} torr로 한 후 질소를 주입하여 용해

표 1. 제조된 시편의 성분분석(wt%)

| | Fe | Mn | Cr | Ni | N | C | Si | P_{N_2} (atm) |
|---|------|------|------|------|------|------|------|--------------------|
| A | Bal. | 26.1 | 12.5 | 0.99 | - | 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 |

2.2 결과 및 고찰

기존에 사용되고 있는 고질소강의 경우 질소의 농도가 최대 2300ppm(0.23%)정도이지만 본 실험에서 제조된 합금에서의 질소의 농도는 질소의 분압($P_{N_2}^{1/2}$)이 증가함에 따라 점차적으로 증가하여 6000ppm 이상의 매우 높은 질소 함유량을 나타내었다. 그림 1에서 알 수 있듯이 질소의 농도는 질소의 분압에 비례하여 점차 증가하는데 이러한 결과는 금속-가스 시스템에서 가스의 분압과 농도의 관계를 나타낸 Sievert의 관계식을 만족하고 있다.

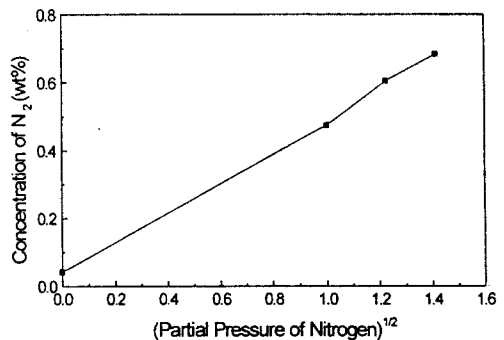


그림 1 질소의 분압($P_{N_2}^{1/2}$)과 질소 농도의 관계

본 실험에서 기존의 재료보다 이처럼 높은 질소의 농도를 나타내는 것은 모함금 제조시 질소를 대기압 이상으로 가압하였고 질화크롬 합금철을 원재료로 사용한 것 이외에 질소의 고용도를 높이는 Mn이 다량으로 함유되어 있기 때문이라고 생각한다.

질소 분압의 증가에 의한 질소 농도의 증가는 격자상수를 변화시키는데 합금에서의 질소의 농도에 대한 격자상수와의 관계를 그림 2에 나타내었다. 질소농도의 증가에 따라 격자상수가 증가함을 알 수 있는데 이는 질소가 침입형으로 합금에 고용되어 격자상수를 증가시키기 때문이라고 생각되며 종래의 연구와 일치하고 있다.

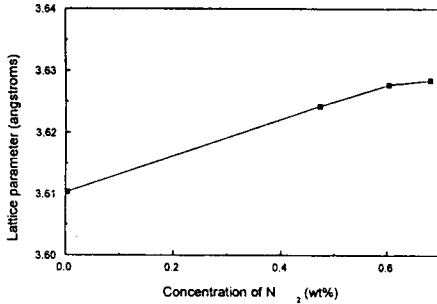


그림 2 질소의 농도에 대한 격자상수의 관계

격자상수를 증가시키는 것 이외에 질소는 합금에 고용되어 기계적 특성을 변화시킨다. 질소의 농도에 대한 기계적 특성을 로크웰 경도기를 사용하여 측정한 결과를 그림 3에 나타내었다. 그림에서 보듯이 질소의 분압이 증가할수록 경도값이 커지는 것을 알 수 있는데 이러한 결과는 질소가 오스테나이트 격자중에 침입형으로 고용되어 강화효과를 일으키기 때문이다. 질소에 의한 고용 강화이외에 추후에 계속될 열처리공정과 가공에 의하여 본 연구에서 제조된 고질소강의 경도값은 더 향상될 것으로 예측된다.

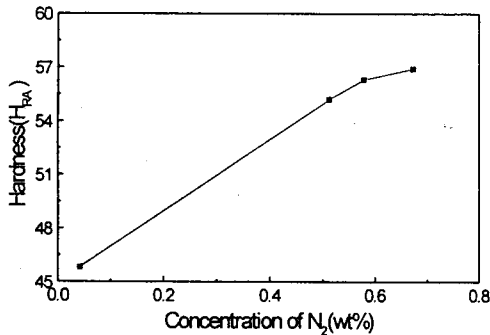


그림 3 질소 농도와 경도와의 관계

한편, 질소는 오스테나이트 조직을 안정화 시키는 원소로 알려져 있다. 주조상태의 시편을 X-선 회절을 이용하여 분석한 결과를 그림 4에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 오스테나이트 안정화 원소인 Mn, Ni 이외에 질소가 고농도로 함유된 합금(합금 B, C, D)에서는 단상의 오스테나이트 조직만이 나타났으며, 질소가 함유되지 않은 합금(합금 A)에서는 오스테나이트 조직 이외에 다른상이 존재함을 알 수 있다. 합금 A에서 점은 원으로 표시된 상은 (크롬, 철)탄화물((Cr, Fe)₇C₃)로 추측된다.

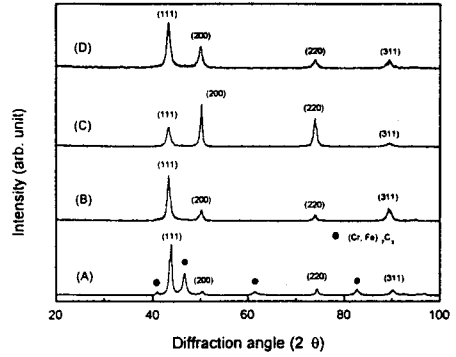


그림 4 주조상태의 시편의 X-선 회절분석 결과

그림 5에 Fe-25%Mn-12%Cr-1%Ni의 조성에 질소가 약 0.5wt%(합금 B) 함유된 재료를 광학현미경으로 관찰한 조직이 나타나 있다. 그림에서 알 수 있듯이 수직상 조직이 잘 발달된 전형적인 주조조직을 관찰할 수 있었다.

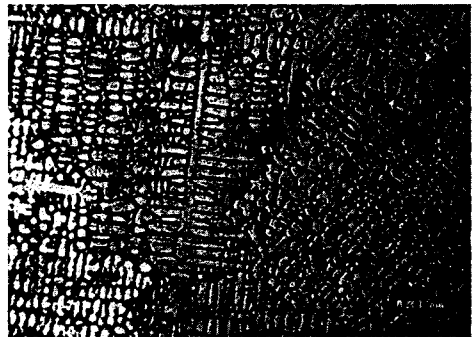


그림 5 Fe-25%Mn-12%Cr-1%Ni-0.5%N 합금의 주조조직(×50)

전기비저항-온도특성 시험으로 고온에서의 상변태를 관찰하였다. 그림 6에 나타난 바와 같이 약 380℃, 570℃, 670℃ 그리고 850℃ 부근에서 상변태가 일어남을 알 수 있는데 이 결과는 위에서 설명되는 열분석기(TMA)로 분석한 결과와 잘 일치한다.

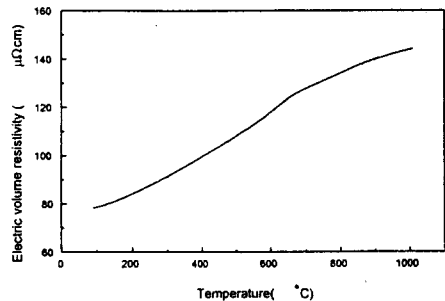


그림 6 온도에 따른 전기비저항의 변화

질소의 농도가 증가함에 따라 상온에서의 전기비저항(ρ)도 증가하는데(그림 7) 이것은 첨가원소의 증가에 의해 원자의 주기성이 흐트러지고 자유전자가 산란되기 때문이라고 여겨진다. 전기비저항(ρ)에 대한 첨가원소의 영향은 명확하지는 않지만 Si의 영향이 가장 크다고 연구되어져 있다.

상온에서 고질소강의 전기비저항(ρ)은 약 $80 \mu\Omega\text{cm}$ 이었으며 기존의 강심재로 사용되는 탄소강이 약 $20 \mu\Omega\text{cm}$ 인 것과 비교하면 상당히 높은 비저항값을 나타내었다. 이러한 결과는 대체 강심재로서 고질소강이 탄소강에 비해 와전류에 의한 철손을 상당히 억제할 수 있을 것으로 기대된다.

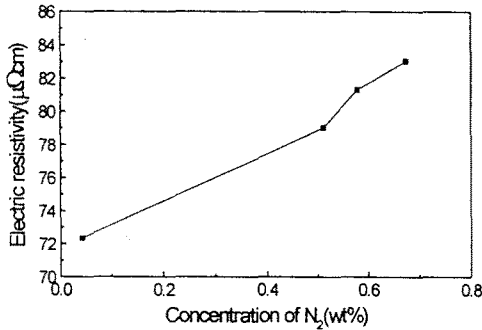


그림 7 질소 농도와 전기비저항(ρ)의 관계(상온)

그림 8은 고질소강 주조재(합금 B)를 열분석기(TMA)로 분석한 온도변화에 따른 열적특성을 보여주고 있다. 여기에서 알 수 있듯이 상변태가 일어나는 구간이 그림 6에서 나타난 전기비저항-온도특성 시험의 결과와 잘 일치한다. TMA 측정에 의한 고질소강 주조재의 선열팽창계수는 약 $22 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 이었다.

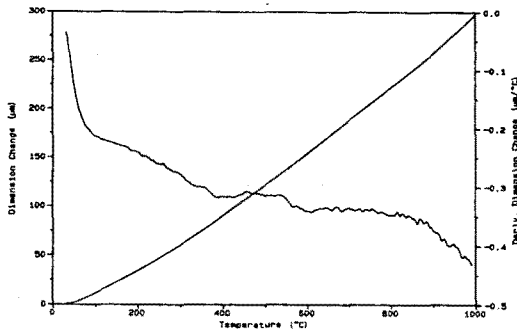


그림 8 고질소강 주조재의 온도에 따른 열적특성

3. 결 론

대체 강심재로서 Fe-25%Mn-12%Cr-1%Ni을 기본조성으로 하고 있는 비자성 오스테나이트계 스테인리스강 주조재의 제특성을 조사하였다. 질소의 분압에 따라 질소의 농도가 증가하는 경향은 Sievert의 법칙을 잘 따르고 있으며 질소는 오스테나이트를 안정화시키고 오스테나이트 격자중에 침입원자로 고용되어 경도를 향상시키며 또한 격자상수를 증가시킨다. 전기비저항-온도특성 시험에서 온도가 상승함에 따라 전기비저항(ρ)은 증가하였고 고온에서 상변태가 일어남을 확인하였다. 상

온에서 질소의 농도가 증가할수록 전기비저항(ρ)도 직선적으로 증가하였으며 약 $80 \mu\Omega\text{cm}$ 의 값을 가졌다. 열분석기(TMA)를 사용하여 관찰한 고온에서의 상변태는 전기비저항-온도특성 시험의 결과와 잘 일치하였으며 열적특성으로서 고질소강의 선열팽창계수는 약 $22 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 이었다.

(참 고 문 헌)

- [1] M. Fujikura et al., "Effect of Manganese and Nitrogen on the Mechanical Properties of Fe-18%Cr-10%Ni Stainless Steels", Transactions ISIJ, Vol. 15, p.465, 1975
- [2] Hans Berns, "Manufacture and Application of High Nitrogen Steels", ISIJ International, Vol. 36, p.909, 1996
- [3] 吉村 博文 et al., "高 Mn-Cr-Ni 鋼의組織, 透磁率および電氣抵抗について", 鉄と鋼, 第 9 号, p.1434, 1979
- [4] Y. Hosoi et al., "Phase Stability and High-Temperature Strengths of High Manganese-Chromium-Iron Base Alloys as Reduced Radio-activation Materials", Journal of Nuclear Materials, 169, p.257, 1989