

송전선 강심의 비틀림 특성에 미치는 열처리의 영향

김정훈, 김봉서, 김상수, 현석규, 김병걸, 이희웅
한국전기연구원

The effect of heat treatment on torsion characteristics of core for transmission conductors

Jung-Hoon Kim, Bong-Seo Kim, Shang-Shu Kim, Byung-geol Kim, Hee-Woong Lee.
Korea Electrotechnology Research Institute.

Abstract

The effect of heat treatment on torsion characteristics of high nitrogen steel wire has been studied by using torsion test, micro vickers hardness and scanning electron microscopy. After heat treatment at 600~700°C, the torsion cycle was increased with increasing temperature. Especially, in case of high nitrogen steel wire heat treated at 650°C, the torsion cycle was sharply increased. It is estimated that the cold-worked high nitrogen steel wire started to recrystallize around at 650°C in air atmosphere.

Key Words : High nitrogen steel wire, Torsion test, Recovery, Recrystallization.

1. 서론

전선의 제조공정을 보면 소선으로 압출, 신선 공정을 거쳐 연선 공정을 거치게 되는데 연선 과정에서 강선이 비틀어 지면선 꼬여진다. 이러한 과정에서 비틀림 응력을 받게 되며 연선된 상태에서는 비틀림으로 인한 잔류응력과 영구적인 소성변형이 존재하게 된다.

일반적으로 고질소강은 고강도, 내식성이 우수하나 가공량이 증가함에 따라서 비틀림 특성 및 연성이 극히 저조해지는 단점을 가지고 있다. 이러한 고질소강을 강심에 적용하기 위해서는 비틀림 특성 및 연성을 향상시켜야 한다. 위와 같은 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 열처리에 의해 강심의 비틀림 특성을 향상시켜 보고자 하였다. 열처리 온도를 600~700°C로 하여 열처리 후 강심의 비틀림 특성 및 경도 변화를 조사하였고 그에 따라 나타나는 조직을 관찰하여 열처리의 영향을 규명하고자 하였다.

2. 실험

본 실험에서 사용된 재료는 직경 3.5mm인 고질소강 강심을 사용하였으며, 그 화학 조성은 표 1에 나타내었다. 이 시편은 온도 620, 630, 640, 650,

670, 690°C로 시간 10, 30, 60분 간격으로 등온에서 열처리 하였으며 열처리 후 비틀림 시험은 ASTM E558에 근거하여 시험편 길이를 강선 직경의 10배로 하였다. 이때 비틀림 속도는 비틀림 시험편이 열로 인한 영향을 받지 않도록 하기 위하여 5cycle/min로 하였으며 하중은 시편의 인장강도 1%인 18.16kg로 하여 실험 하였다. 경도는 마이크로 비커스 경도기를 이용하여 하중 200g 하중 유지시간 15초 조건에서 7회 측정하여 평균값을 나타내었다. 비틀림 특성 평가 후 SEM을 사용하여 파면 형상을 관찰하였다.

Table 1. Chemical composition of high nitrogen steel wire (wt%).

	Fe	C	N	S	Co	Cr	Cu	Mn	Ni	P	Si
Wt %	Bal.	0.11	0.3	0.001	0.1	17.8	0.11	9.7	5.42	0.002	0.51

3. 결과 및 고찰

3.1 비틀림 특성

고질소강 선재의 비틀림 특성에 미치는 열처리

의 영향을 관찰하기 위하여 열처리 온도, 시간에 따른 비틀림 횡수의 변화를 그림 1에 나타내었다. 열처리 온도와 시간이 증가함에 따라 열처리 하지 않은 경우 보다 비틀림 횡수가 증가하였으며, 특히 650°C에서 급격한 증가를 나타내었다. 이는 냉간 가공된 고질소강이 고온으로 재가열함에 따라 금속의 조직은 회복과 재결정의 일련의 변화를 겪으며 비틀림 횡수가 증가하고 있다. 또한 온도가 640°C에서 650°C로 증가하면서 회복 단계에 있던 고질소강이 재결정이 진행 되면서 비틀림 횡수가 급격히 증가하고 있다. 10분 동안 열처리 한 경우, 640°C이하의 온도에서는 열처리 하지 않은 경우보다 낮은 비틀림 횡수를 나타내었다. 이는 금속의 이전 변형량, 온도, 시간, 초기 결정입도, 금속과 합금의 조성은 회복과 재결정에 중요한 영향을 미치며 10분 동안 열처리 한 경우 회복과 재결정을 일으키는데 충분하지 않은 시간이기 때문이라 생각된다. 그림 2는 고질소강 선재를 열처리 온도와 시간에 따른 비틀림 전단 항복강도를 나타낸 것이다. 원형 선재의 경우 비틀림 표면에는 최대 전단 응력이 발생하며 중심에서의 응력은 영이 된다. 즉 반경 방향을 따라 응력이 변하게 되는데 탄성 범위 내에서는 응력이 직선적으로 변하여 계산이 가능하다. 이를 근거로 하여 계산한 결과 온도, 시간이 증가함에 따라 비틀림 전단 항복 강도는 감소하고 있다.

3.2 경도 변화

고질소강 선재의 경도 변화에 미치는 열처리의 영향을 관찰하기 위해서 30분 동안 열처리 후 고질소강의 경도 변화를 그림 3에 나타내었다. 온도 증가에 따라 경도 변화는 감소함을 나타내었으며 640°C 이전에는 열처리 하지 않은 경우와 유사한 값을 나타내며 650°C 이후로 갈수록 급격한 감소를 나타내었다. 이것은 640°C 이전에는 회복 단계를 겪으며 경도는 점차 감소하다가 650°C 이후로 갈수록 재결정이 진행되어 경도는 급격하게 감소하기 때문이다.

3.3 SEM 관찰

그림 4는 열처리 하지 않은 경우와 30분 동안 620, 650, 690°C에서 열처리 한 경우 고질소강 선재의 비틀림 파면 사진을 나타내고 있다. 열처리 하지 않은 경우는 밋밋한 취성 파면 현상을 보이며 열처리 한 경우는 온도가 증가함에 따라 dimple 파면 현상을 보이고 있다. 이는 620°C에서

냉간 가공으로 일어난 내부응력이 점차 제거되다가 650°C에서 재결정이 진행되어 비틀림 특성이 크게 향상되며 연성 파면의 대표적인 형태인 dimple 파면 형상을 보이고 있다.

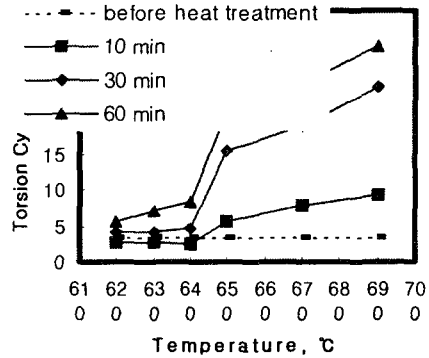


Fig. 1. Effect of heat treatment on torsion characteristics of high nitrogen steel wire.

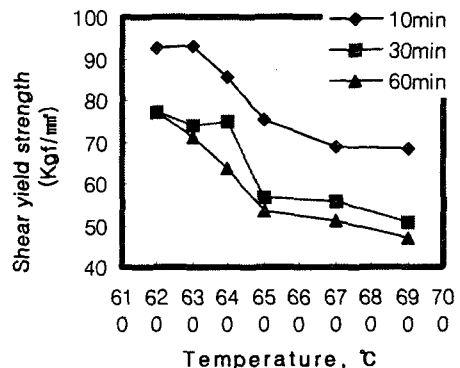


Fig.2. Variation of shear yield strength of high nitrogen steel wire after heat treatment

4. 결론

직경 3.5mm 고질소강 선재를 600~700°C에서 열처리 후 비틀림 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 고질소강 선재의 비틀림 특성은 온도, 시간의 증가에 따라 열처리 전 보다 향상되었다.

2. 고질소강 선재의 비틀림 특성은 650℃에서 급격한 증가를 나타내었으며, 이는 냉간 가공된 고질소강이 650℃부근에서 재결정이 진행되기 때문이다.

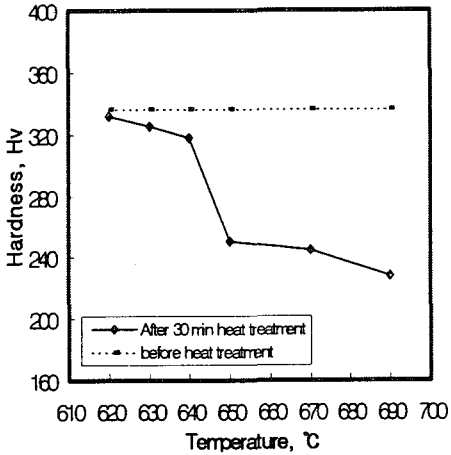
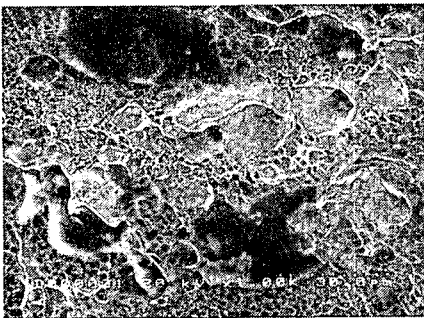
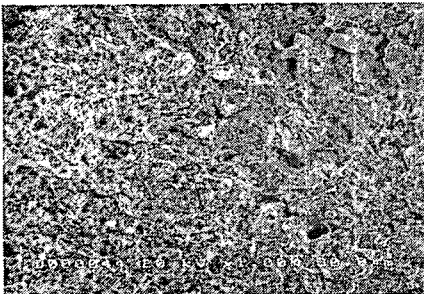


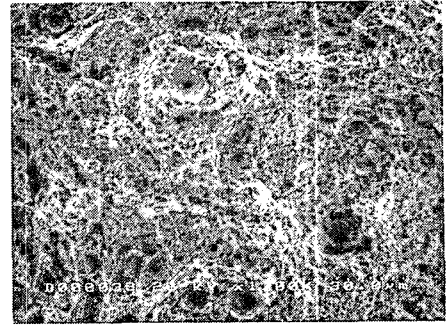
Fig. 3. Variation of hardness of high nitrogen steel wire after a heat treatment for 30min.



(a)



(b)



(c)

Fig. 4. SEM micrographs high nitrogen steel wire after torsion test (a) before heat treatment (b) 620°C (c) 650°C

참고 문헌

- [1] V.G. Gavriljuk, "Effect of nitrogen on the temperature dependence of yield strength of austenitic steel", Acta mater, Vol46. No4, pp1157-1163, 1998

초전도 전류제한기의 패턴형상별 특성

최효상, 정현상, 최창주, 이상일, 정수복, 오금근, 임성훈*, 한병성*, 정동철**
조선대학교 전기공학과, 전북대학교 전기공학과*, 우석대학교 정보통신컴퓨터공학부**

Characteristics of superconducting fault current limiters with various pattern shape

H. S. Choi, H. S. Chung, C. J. Choi, S. I. Lee, S. B. Chung, G. K. Oh, S. H. Lim*, B. S. Han*, D. C. Chung**
Chosun Univ., Jeonbuk National Univ.*, Woosuk Univ.**

Abstract

Quench behavior of resistive superconducting fault current limiters (SFCLs) with various pattern shapes was investigated. The pattern shapes employed were meander, bi-spiral, and spiral shapes of identical line width, gap and margin. SFCLs were fabricated from YBCO thin films grown on two-inch diameter Al_2O_3 substrates under the same conditions. Resistance rise of current limiting elements was low at a spiral shape before the whole quench completion, which may act as a disadvantage for simultaneous quench in serial connection between current limiting elements, but the temperature tended to have similar values at higher voltages. On the other hand, bi-spiral shape was severe at insulation level between current limiting lines. When these aspects were considered, we concluded that a meander shape was appropriate to design for a resistive SFCL based on thin films except the concentration of electric field at edge areas of strip lines.

Key Words : superconducting fault current limiter, YBCO thin film, power system, pattern shape

1. 서론

The increasing interconnection and the growing power can lead to increase fault currents over allowed currents of existing circuit breakers. These fault currents may give quite high stresses on the networks. So, it is demanded that the devices cut these short circuit currents very quickly with high reliability. Superconducting fault current limiters offer ideal performance among all current limiting devices. In normal operation the SFCL has negligible impedance since it is in the superconducting state and, in the event of a fault, the transition into the normal conducting state limits the fault current passively. SFCLs are currently being developed in many countries

[1]-[6]. There are various concepts of SFCLs: resistive, inductive, hybrid, bridge types and so on. Resistive SFCLs are quite simple in principle and structure. Especially resistive SFCLs using thin films are easy to be made compact. We have been developing the resistive type SFCLs using thin films [6]-[13]. An SFCL using thin films is usually composed of several current limiting elements. In order to maximize the performance of an SFCL, the pattern shapes of the current limiting elements should be optimized. In this work, E-I properties by AC sources, characterization of various pattern shapes, and a proper design shape were investigated and proposed.

2. 실험

Current limiting elements were fabricated by