

장력 변화에 따른 Fe-B-Si 비정질 리본의 고주파 자기특성 변화

김기욱O, 민복기, 송재성, 김병걸, 황시돌*, 최형석*
한국전기연구소 *한전기술 연구원

High Frequency Magnetic Properties of Tensioned Amorphous Fe-B-Si Ribbon

K.U. Kim, B.K.Min, J.S. Song, B.K. Kim, S.D. Hwang*, H.S. Choi*

Korea Electrotechnology Research Institute, Korea Electric Power Corporation Research center*

Abstract

High frequency magnetic properties of amorphous $Fe_{78}B_{13}Si_9$ ribbon were studied. Squareness (B_r/B_s) and coercive force (H_c) of the specimen field annealed at 380 C for 2 hrs are changed with the tension and the measuring frequency. So, we could optimise the tension having good magnetic properties at a certain frequency.

1. 서론

METGLAS TCA 합금의 자기특성은 일반적으로 340-410 °C의 Field Annealing 에 의해 최적화된다. 열처리의 목적은 리본구조와 core winding 하는 중에 생긴 응력치를 최소화하는데 있다. 열처리온도와 시간은 비정질합금의 결정화가 일어나지않는 수준에서 가능한 응력을 최대한 줄이는데 충분하게끔 선정한다. 자기장은 기본적으로 리본방향으로 유도자기야방성을 생성시키는데 사용된다.

주조중에 생기는 응력은 310 °C 정도면 사라지는 것으로 보고 되어 있다. 따라서, 최적의 손실감소를 위해 340-410°C의 열처리온도가 요구된다는 것은 완성된 core의 최적자기특성을 방해하는 응력이 core winding과 관련이있음을 시사한다. 다른 연구에 의하면 리본 winding이 잔류자기유도치를 낮춤으로써, 작은 core의 응력에 기여하는 가장큰 기여자임을 보였다. 또한 wound core에 생긴 압축응력은 winding tension이 리본폭 25 mm 당 10 N 보다 크면 열처리를 거치더라도 제거될 수 없다고 하였다. winding tension을 증가시키면 점적율이 증가하는데, 이러한 점적율의 증가는 core의 만곡을 줄이고 재료이용효율을 증가하는데 중요하다. 그러나, 보다 큰 winding tension을 통한 점적율의 증가의 이점은 완성된 열처리 core의 손실상승을 일으켜 그 댓가를 지불할 수있다. 예를 들어 다음과 같은 core 실험조건에서

- 0.025 mm thick, 100 mm width 2605s-2 ribbons
- wound onto cold-rolled steel mandrels
- 내경 175 mm, 50 kg, 15 kVA급
- 10 Oe field annealing, 2hours

1.4 T, 60 Hz 최소손실은 340°C와 360°C 사이에서 10→5 winding tension을 가했을때 나타났다. 여기서 10→5 가 의미하는 것은 core winding을 10 N에서 시작하여 5 N으로 끝냈다는 것이다. 그러나, 점적율은 10→5 winding tension에서 가장낮았다. winding tension과 열처리온도의 선택은 특정한 변압기설계 고려 상황에 의존한다. winding tension 10 → 5 을 사용하였을때, 최적열처리온도가 core 내경이 증가함에따라 감소하는데 이는 리본 bending 응력 의 크기가 core dimension이 증가함에 따라 감소하기 때문이며, 따라서, induced 응력수준이 낮을 수록 이를 완화하기위한 열처리온도가 낮을 필요가 있다.

일정한 장력으로 감았을 때 손실에 가장많이 기여하는 것은 core의 가장안쪽 부분임이 밝혀졌으며, 실례로서 코어 안쪽의 약간의 부분을 제거했을때 철손이 30%정도나 개선되었다. 이러한 상당히 국소적인 효과의 제한된 mechanism으로 안쪽의 리본층들은 초과된 동경방향의 응력을 받을 가능성이 있고, 이는 마치 tapered tension winding 에 근접한 결과를 낳는다는 것이다. tapered tension winding을 사용하여 개선된 철손특성을 얻었음에도 불구하고 wound core의 가장안쪽부분의 여전히 총 철손에 상당히 기여하는 것으로 나타났다.

2. 실험방법

폭 17cm의 비정질 Metglas TCA ($Fe_{78}B_{13}Si_9$) 리본을 주조방향으로 길이 15cm, 폭 3 mm 의 단편 (single strip) 형태로 자르고, 질소분위기에서 380°C, 1시간 10 Oe 자장열처리를 시행하였다. 이 때 열처리중 이들 리본에 200g(32.6 MPa에 해당), 400g, 600g, 800g의 장력을 인가함으로써, 열처리중에 장력 인가에 따른 자기특성변화를 조사하고자 하였다. 열처리 후, 이들에 대한 직류자기이력곡선을 얻었다. 직류자기이력곡선은 단편형 자기특성장치를 사용하였다.

또한, 열처리된 시편에서 자기특성(보자력, 잔류자속밀도, 포화자속밀도)의 장력존성을 조사하기 위하여 0.8, 1.5, 32.6, 65.2

MPa 의 장력하에서 1 kHz 및 10 kHz 교류자기곡선을 얻었다. 이를 위해 장력인가장치가 달린 단면형 교류자기특성측정장치를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

표 1 은 자장중열처리중 200 ~ 800 g 까지 장력을 가했을때 보자력의 값을 나타냈다. 장력변화에 대해 보자력의 값은 거의 변하지 않았는데, 이는 자장중열처리에 의해서 충분한 일속자기이방성이 형성되기 때문에 부가적으로 장력을 가하더라도 그 효과가 없기 때문인 것으로 생각된다.

그림 1 은 1 kHz 교류자기계에서 장력을 각각 0, 8.15, 32.6 MPa 로 가하면서 측정한 자기이력곡선이다. 곡선으로부터 포화자속밀도의 값은 거의 변하지 않았으나, 잔류자속밀도가 증가하여 각형비(Br/Bs)가 개선되는 것을 볼수있다. 이와

시편	보자력 (Oe)	인가장력
J2	0.025	200 g
J4	0.025	400 g
J6	0.026	600 g
J8	0.025	800 g

표 1 장력변화에 따른 직류 B-H특성

같이 장력에 의해 각형비가 커지는 것은 장력으로생성된 자기탄성에너지에 의해 잔류 90° 자구가 장력방향으로 180° 자구로 변화되기때문으로 생각된다.

그림 2 는 장력을 가하지 않았을 때의 특성을 1 로했을때, 주파수 1 kHz 와 10 kHz에서 포화자속밀도(Bs)의 상대적 변화량을 규격화(normalize)하여 장력변화에 따라 나타낸것인데, 장력에 따른 포화자속 밀도의 변화가 거의 없음을 알 수 있다.그림 3 은 장력변화에 따른 잔류자속밀도(Br)의 변화량을 나타낸 것이다. 1 kHz 의 주파수에서 측정한 시편의 경우 장력이 증가함에 따라 약 10 MPa까지 잔류자속 밀도가 20% 이상 증가함을 보여주고 있다. 그림 4 는 그림 2,그림 3의 data로 부터 구한 각형비(Br/Bs)의 변화량을 그림 2에서와 같이 규격화하여 표시한 것이다. 그림으로부터 장력이 증가하면 1 kHz에서 각형비가 장력을 가하지 않았을 때보다 20%이상 개선되는 효과를 나타냈다. 그러나, 10 kHz 시편의 경우 그 증가량은 5%정도에 그쳤다.

그림 5 는 보자력의 변화를 나타낸 것이다. 10 kHz의 주파수에서 측정한 시편인 경우 보자력이 장력이 증가함에 따라 10 MPa 까지 약간감소하다가 그이후 부터는 크게 증가하고, 1 kHz의 주파수에서도 장력의 크기가 10 MPa 이상되는 영역으로부터 보자력이 점차증가하는 양상을 보였다.

결과적으로 장력변화에 따른 1 kHz, 10 kHz에서의 교류자기특성은 장력을 10 MPa 이하일때는 보자력, 포화자속밀도의 변화가 없이 각형비가 개선되는 효과가 있었다.

4. 결론

위의 실험결과로 부터 다음의 결론을 얻었다.

가. 자장중 열처리중에 장력을 인가하여도 직류자기특성의 변화가 없었는데, 이는 장력과는 별도로 자장에의해서 유도자기이방성이 생성되기때문이다.

나. 교류특성에서 장력의 크기가 10 MPa 로 증가되면 1 kHz 에서 측정한 시편의 경우 각형비가 20% 이상 향상되었으며, 그 이상의 장력에서는 각형비가 크게 변하지않았다. 또한 10 kHz 에서는 그 증가량이 5%정도로 작았다.

다. 장력에의한 포화자속밀도치의 변화는 나타나지않았다.

라. 보자력은 10 MPa 까지는 별 변화가 없다가 그 이상에서부터 점차 증가하였다.

5. 참고문헌

1. K. Yamamoto et al., 일본전기학회 마그네틱스연구회자료, MAG-92-271, (1992)19.
2. A. Saito et al., 일본전기학회 마그네틱스연구회자료, MAG-91-70, (1991)59.
3. F. Tokutake et al., 일본전기학회 마그네틱스연구회자료, MAG-91-71, (1991)69.
4. D. M. Nathasingh and H. Liebermann, IEEE Transactions on Power Delivery PWRD-2, No. 3, (1987)843
5. H. Suzuki et al., 일본마그네틱스연구회자료, MAG-92-272, (1992) 27.

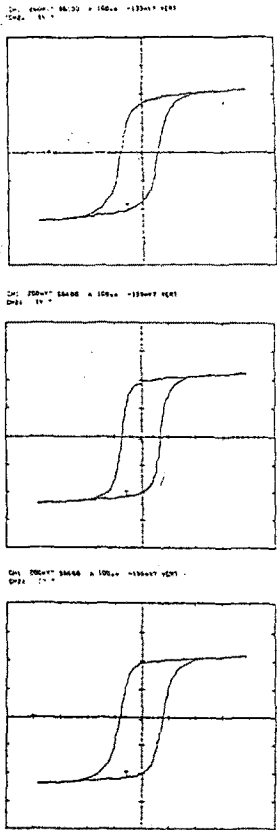


그림 1. 장력변화에 따른 1 kHz 교류자기특성
위로부터 장력 $\sigma=0$, $\sigma=8.15$, $\sigma=32.6$

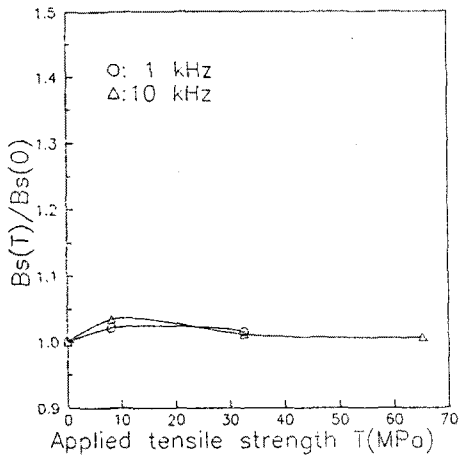


그림 2. 2605S-2의 장력변화에 따른 포화자속밀도

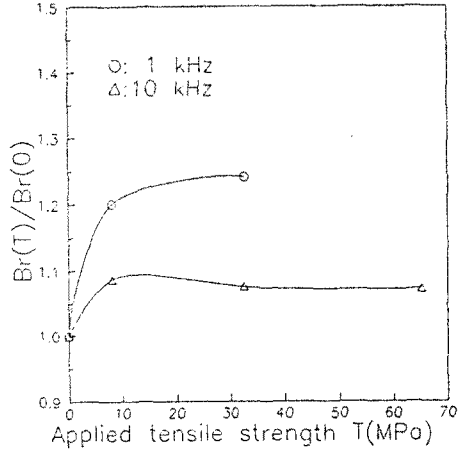


그림 3. 2605S-2의 장력변화에 따른 잔류자속밀도

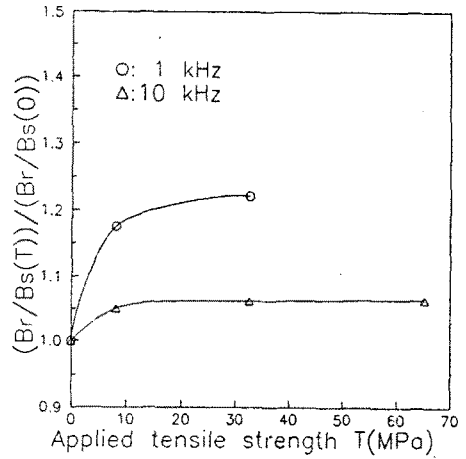


그림 4. 2605S-2의 장력변화에 따른 각형비

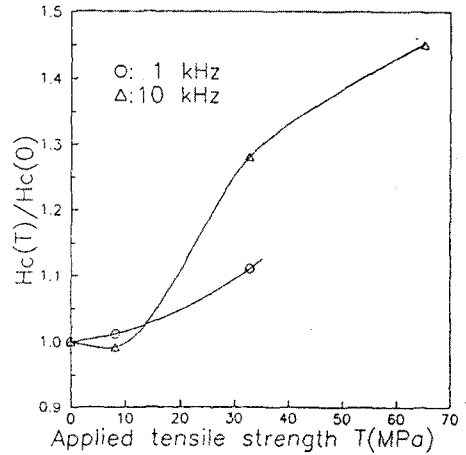


그림 5. 2605S-2의 장력변화에 따른 보자력