비정질 리본의 자기장중 열처리에 의한 보자력 노이즈의 변화에 관한 연구

최근화 · 손대락
한남대학교 물리학과
대전직할시 대덕구 오정동 133, 300-791

(1994년 5월 17일 받음, 1994년 6월 9일 최종수정본 받음)

본 연구에서는 2쌍의 헬름홀쯔코일을 사용하여 리본형 시편의 종방향 및 횡방향으로 자기장을 인가한 상태에서 열처리한 Co-계 비정질 합금 VITROVAC 6030의 보자력 노이즈를 측정하였다. 시편의 종방향 및 횡방향으로 dc 자기장을 인가한 상태에서 열처리한 시편의 경우, 보자력노이즈는 자화주파수가 1~100 kHz 범위에서 거의 변화하지 않았으며, 시편의 종방향으로 ac 자기장을 횡방향으로는 dc자기장을 인가한 상태에서 열처리한 시편의 경우의 보자력 노이즈는 자화주파수의 거듭제곱으로 감소하는 경향을 보였다. 또한 자구핵형성이 일어날 경우 보자력 노이즈는 크게 증가하며 자화주파수의 거듭제곱으로 감소하는 경향을 보였다.

Ⅰ. 서 론

자기코아의 노이즈는 코아를 사용하는 장치의 노이즈나 분해능과 직결되는 요소로써 신호용이나 센서용 코아를 제작 할 경우 중요한 역할을 한다[1, 2]. 코아의 노이즈를 측정하기 위해서는 저주파 자화주파수로 시편을 자화시키고 이때 이차코일에 유도되는 기전력의 주파수 성분을 분석하여 측정하는 경우와[3] 주어진 교류 자화주파수 하에서 이차코일에 유도되는 기전력의 변화로 부터 노이즈의 rms 등을 측정하는 방법이 있다[4].

본 연구에서는 Co-계 비정질 리본을 서로 다른 자기장 조건하에서 열처리한 시편을 주어진 자화주파수에서 코아를 포화자화 시키고, 매 주기마다 보자력을 측정할 경우 보자력이 추계학적(stochastic)변화를 보이는 데 이를 Sample and Hold(S/H) 증폭기로 측정하는 방법을 사용하였다. 한편 비정질합금은 자기 결정 이방성이 없고 결정입계가 없으며, 자장중 열처리에 의하여 자기이력곡선의 형태를 변화시킬 수 있는 장점을 갖고있어서, 그 응용목적에 맞는 자기이력곡선의 형태를 갖게 할 수 있다. 이 경우 열처리조건에 따른 코아노이즈의 변화를 조사하므로써 저 노이즈용 코아제작의 최적화 조건을 얻을 수 있으며, 특히 보자력의 노이즈의 측정은 플럭스게이트 센서나 가포화코아로 사용되는 코아의 노이즈에 직접 관련될 수 있다.

Ⅱ. 보자력 노이즈 측정장치 제작

보자력 노이즈의 측정은 Fig. 1과 같이 피상보자력의

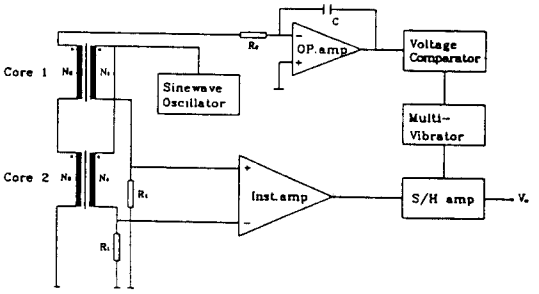


Fig. 1. Schematic diagram of the electronic circuit for the measurement of the coercive field strength noise.

변화를 이용한 플럭스게이트 마그네토미터의 원리[5]와 유사하나 두 코아를 자화시키는 일차코일은 서로 같은 방향이 되게 같은 극성으로 병렬 연결하고, 두 코아를 가까운 위치에 놓아서 외부의 자기장에 의한 교란효과를 최소화하고, 두 시편의 평균 보자력값이 서로 상쇄되게 하였다. 이 경우 두 코아의 보자력 노이즈 ΔH_{cn}의 차이는 서로 상쇄되지 않는다. 따라서 두 코아의 보자력노이즈 차이의 rms 값은 각 코아의 노이즈 ΔH_{cn}의 rms 값에 $\sqrt{2}$ 배 적게 측정이 된다[1]. 그리고 자기이력곡선이 H축을 지나갈때 S/H 펄스를 만들기 위하여 두 코아의 이차코일에 유도되는 기전력을 더하여 Miller 적분기로 적분하여 두 코아의 평균자기유도에 비례하는 신호를 얻어, 전압비교기와 monostable multivibrator를 사용하여 자기유도가 0을 지나는 시점에서에서 셈플링펄스를 발생하여 S/H 증폭기를 동작시키고, 이 경우 S/H 증폭기의 출

력 V_0와 보자력 노이즈 ΔH_{cn} 사이의 관계는 다음과 같다.

$$\Delta H_{cn} = \frac{N_l}{\sqrt{2}\, G l R_l} V_0 \qquad (1)$$

여기서 G는 계측증폭기의 증폭도이고 R_l은 일차코일에 흐르는 전류를 전압신호로 바꾸는 저항, l은 솔레노이드의 길이 이며, N_l은 일차코일의 권선수이다. 따라서 식 (1)을 사용하여 코아의 보자력 노이즈 ΔH_{cn}을 측정할 수 있다.

Ⅲ. 시편제작

보자력 노이즈의 측정대상 시편은 고주파용 코아나 센서용 코아로 많이 사용되는 Co-계 비정질 리본인 VITROVAC® 6030으로 두께가 25 μm, 폭이 2 mm로 slitting한 시편을 길이 110 mm로 자른후 두 쌍의 헬름홀쯔 코일 사용한 자기장중 열처리장치를 사용하여 다음과 같은 자기장조건하에서 열처리온도 300 ℃로 두시간 열처리하였다. 자화주파수 100 kHz에서 자기이력곡선을 측정한 결과는 Fig. 2 및 Fig. 3과 같다.

Fig. 2는 시편의 종방향으로 2.6×10^{-3} T 의 dc 자기장을 가하고, 시편의 횡방향으로 자기장을 Fig. 2-a)는 9×10^{-3} T, Fig. 2-b)는 8.1×10^{-3} T, Fig. 2-c)는 7.2×10^{-3} T, 및 Fig. 2-d)는 5.4×10^{-3} T의 자기장으로

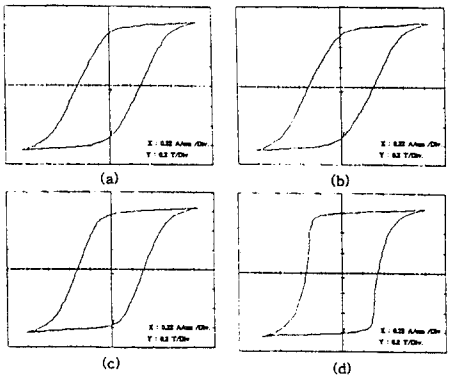


Fig. 2. Hysteresis loops at 100 kHz for VITROVAC® 6030 amorphous alloy annealed at 300 ℃ during 2 hrs under the magnetic fidld of 2.6×10^{-3} T dc longitudinal field and a) 9×10^{-3} T dc transverse field, b) 8.1×10^{-3} T dc transverse field, c) 7.2×10^{-3} T dc transverse field, d) 5.4×10^{-3} T dc transverse field, respectively.

변화시키면서 자기장중 열처리한 시편을 자화주파수 100 kHz에서 자기이력곡선을 측정한 결과로, 횡방향의 자기장값을 낮춤에 따라서 평행사변형의 자기이력곡선(F-형)에서 기울기가 커짐을 알 수 있다.

Fig. 3은 시편의 종방향 자기장을 주파수 10 Hz, 최대자장이 2.6×10^{-3} T의 sine 파의 ac 자기장을 횡방향으로는 Fig. 3-a)는 8.1×10^{-3} T, Fig. 3-b)는 7.2×10^{-3} T, Fig. 3-c)는 5.4×10^{-3} T, 및 Fig. 3-d)는 3.6×10^{-3} T 의 자기장을 인가시키면서 열처리한 시편을 자화주파수 100 kHz에서 측정한 자기이력곡선으로 Fig. 2의 종방향으로 dc 자기장을 가했을때의 자기이력곡선의 형태와 다름을 알 수 있다. 이는 dc 자기장 하에서 열처리할 때는 자구가 인가된 자기장의 방향으로 확장된 상태에서 열처리가 되지만 교류자기장 하에서 열처리를 할 경우 자구를 계속 이동 및 회전시키면서 열처리를 하기 때문에, 그 결과가 달리 나타나는것으로 생각된다.

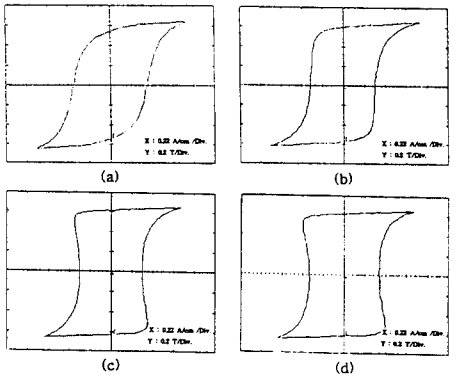


Fig. 3. Hysteresis loops at 100 kHz for VITROVAC® 6030 amorphous alloy annealed at 300 ℃ during 2 hrs under the magnetic fidld of 2.6×10^{-3} T dc longitudinal and a) 8.1×10^{-3} T dc transverse field, b) 7.2×10^{-3} T dc transverse field, c) 5.4×10^{-3} T dc transverse field, d) 3.6×10^{-3} T dc transverse field, respectively.

Ⅳ 보자력 노이즈 측정 및 고찰

앞 절에서 자기장중 열처리를 한 8개의 시편에 대하여 보자력 노이즈의 측정시 모두 최대자화력 H_{max}를 2.5 A/cm로 일정하게 하였다. Fig. 4 및 Fig. 5는 자화주파수 10 kHz에서 매 주기마다 보자력값의 변화, 즉 노이즈를 측정한 결과로 Fig. 2 및 Fig. 3의 시편에 대응되는 보자력 노이즈의 측정데이타이다. Fig. 4에서 보면 보자력 노이즈가 Fig. 4-a)에서 Fig. 4-c)까지는 거의 같으나

Fig. 4-d)에서 증가한다. Fig. 5는 종방향 교류자기장하에서 열처리한 시편으로 Fig. 5-a)에서 Fig. 5-b)까지는 보자력노이즈가 거의 같으나 Fig. 5-c)와 Fig. 5-d)에서 매우 증가하는 경향을 보이고 있다.

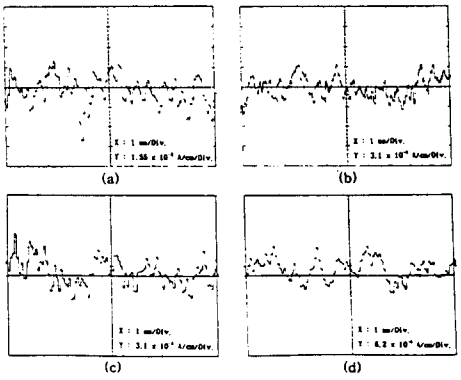


Fig. 4. Coercive field strength noise at magnetizing frequency of 10 kHz for VITROVAC® 6030 amorphous alloy annealed at 300℃ during 2 hrs under the magnetic fidld of 2.6×10^{-3} T dc longitudinal field and a) 9×10^{-3} T dc transverse field, b) 8.1×10^{-3} T dc transverse field, c) 7.2×10^{-3} T dc transverse field, d) 5.4×10^{-3} T dc transverse field, respectively.

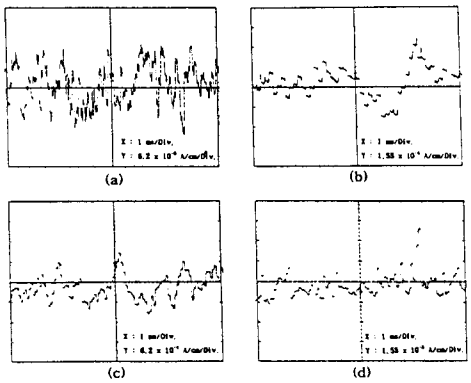
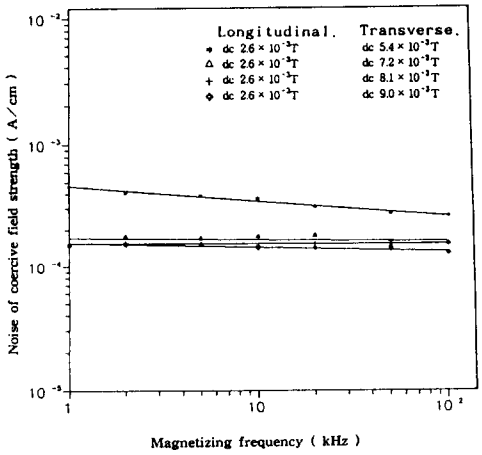
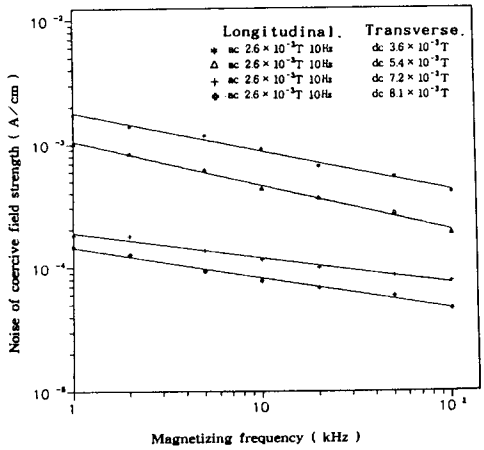


Fig. 5. Coercive field strength noise at magnetizing frequency of 10 kHz for VITROVAC® 6030 amorphous alloy annealed at 300 ℃ during 2 hrs under the magnetic fidld of 2.6×10^{-3} T dc longitudinal field and a) 8.1×10^{-3} T dc transverse field, b) 7.2×10^{-3} T dc transverse field, c) 5.4×10^{-3} T dc transverse field, d) 3.6×10^{-3} T dc transverse field, respectively.

한편 이들 비정질 리본의 자화주파수 변화에 따른 보자력 노이즈의 rms값을 자화주파수 1 kHz에서 100 kHz 범위에서 앞에서 언급한 시편으로 측정하였는데, Fig. 6-a)는 시편의 종방향으로 dc 자기장하에서 열처리한 시편에 대한 결과로 시편의 자기이력곡선의 모양이 평행사변형인 경우(Fig. 4-a), Fig. 4-b), Fig. 4-c)) 자화주파수에 따른 보자력 노이즈의 변화가 매우 적음을 알 수 있었으며, 이는 자기이력곡선의 형태로 부터 분석하여보면 Fig. 4-a)에서 Fig. 4-c)까지는 자구회전에 의한 기여가 많은 자기이력곡선의 형태이나 Fig. 4-d)는 자벽의 이동



(a)



(b)

Fig. 6. Magnetizing frequency dependence of coercive field strength noise of the magnetic field annealed VITROVAC® 6030 amorphous alloy annealed at 300℃ during 2 hrs under a) dc longitudinal magnetic field and dc transverse field, and b) ac longitudinal magnetic field and dc transverse magnetic field.

에 의한 기여가 많은 자기이력곡선의 형태이다. 따라서 보자력 노이즈가 자구의 회전에 의한 경우가 자벽의 이동에 의한 효과보다는 적음을 알 수 있다.

Fig. 6-b)는 시편의 종방향으로 ac 자장하에서 열처리한 시편의 자화주파수에 따른 보자력 노이즈의 변화를 측정한 결과로 우선 Fig. 5-a) 및 Fig. 5-b)의 시편의 경우 보자력 노이즈 차가 적으면서 자화주파수에 따른 보자력 노이즈가 자화주파수의 거듭제곱으로 감소하는 경향을 보이고 있으며 Fig. 5-c) 및 Fig. 5-d)인 시편의 경우 보자력 노이즈가 매우 크고 자화주파수 의존도가 크게 나타났다. 이 경우를 자기이력곡선상에서 보면 제 2 상한에서 자기이력곡선의 형태가 자화력 H 가 증가한 후 다시감소하여 H_c 상태로 오는 현상을 보이고 있다. 이는 자구핵형성 현상에 기인된 것으로, 이 경우 큰 Barkhausen 노이즈가 생기기 때문인것으로 생각된다.

V. 결 론

비정질 자성재료는 결정질 자성재료와 달리 자장중 열처리 조건등에 의하여 자기이력곡선의 형태를 변화시킬 수 있는 장점을 갖고있으나 코아의 응용목적에 맞는 최적화된 코아를 얻기 위해서는 자기이력곡선 형태와 코아의 노이즈를 동시에 고려하여야 한다. 코아의 보자력 노이즈는 자기이력곡선의 형태와 밀접한 상관관계를 나타내었으며 또한 자화주파수의 변화에 다른 보자력 노이즈의 변화는 자기이력곡선의 형태와 상관관계를 나타내었다.

자기이력곡선의 모양이 평행사변형인 코아의 경우 코아의 보자력 노이즈가 자화주파수의 변화에 거의 무관하였으며, 직사각형의 자기이력곡선을 갖는 코아의 경우 주파수가 증가함에 따라 보자력 노이즈가 지수함수적으로 감소하는 경향을 나타내었다.

참 고 문 헌

[1] T. Higuchi, IEEE Trans. Magn., **MAG-6**, 847 (1970).

[2] K. Shirae, IEEE Trans. Magn., **MAG-20**, 1299 (1984).

[3] P. Mazzetti and G. Montalenti, J. Appl. Phys., **34**, 3223(1963).

[4] T. Sonoda, et al., IEEE Trans. Magn., **MAG-22**, 547(1986).

[5] D. Son, IEEE Trans. Magn., **MAG-25**, 3420 (1989).

Study on the Coercive Field Strength Noise Depends on the Magnetic Field Annealing Effect of Amorphous Ribbon

Geunhwa Choi, Derac Son

Department of Physics, Han Nam University, Taejon 300-791

(Received 17 May 1994, in final form 9 June 1994)

Magnetic field annealing method has been used to obtain proper hysteresis loop shapes which are useful to a device using amorphous ribbon. In this study, two pairs of Helmhotz coils were used to apply longitudinal and transverse magnetic field during annealing. For the measurement of coercive field strength noise which depends on magnetic field annealing, Co-based amorphous alloy ribbon VITROVAC® 6030 was used. For the sample which was annealed under dc transverse and dc longitudinal magnetic field, coercive field strength noise was nearly independent of magnetizing frequency ranging from 1 to 100 kHz, but dc transverse and ac longitudinal magnetic fields annealed samples show that the coercive field strength noise decreased in power of magnetizing frequency. When magnetic domain nucleation occurred, the coercive field strength noise increased remarkably and decreased in power of magnetizing frequency.