Fe-Si계 연자성 분말 합금

김휘준, 박은수*, 배정찬
한국생산기술연구원

1. 서 론

연자성 소재는 자동차, 가전기기, 통신, 컴퓨터 산업분야에 사용되고 있는 전자기 부품의 코어를 형성하는 핵심소재로서 우리 생활을 혁신시키고 있으며, 이들 산업이 추구하는 기기의 고효율화 및 부품의 경박단소화의 요구에 부응하기 위해 낮은 자기손실, 높은 자속밀도 및 투자율을 동시에 충족시킬 수 있는 새로운 연자성 소재에 대한 연구개발이 활발히 수행되고 있다[1-3].

대표적인 연자성 소재인 전기강판은 변압기 코어 및 전동기 코어로서 널리 사용되고 있는데, Si의 첨가에 의해 자기이방성을 감소시킴으로써 보자력을 낮추고 전기저항을 증가시킴으로써 와전류손실을 감소시키고 있다. 최근 6.5 wt.%의 Si를 함유한 Fe계 연자성 소재의 경우 가기변형이 영이 되고, 투자율이 높으며 자기손실이 최소가 되어 가장 우수한 자기특성을 갖는다. 그러나, Si이 3.5 wt.% 이상 첨가되면 연성이 급격히 저하되어 냉간압연에 의해 전기강판으로 제조하는 것이 어렵기 때문에 상업용 전기강판의 경우 최대 3.5 wt.%의 Si를 함유하고 있다.

최근, 더욱 높은 에너지효율 및 소형화의 추이에 부응하기 위해 전동기의 사용 주파수가 400 Hz 이상으로 높아지고 있어 다양한 방법으로 Fe-6.5wt.%Si 합금의 성형공정이 상용화 되고 있는데, 표면확산법(surface diffusion process), 고온침적(hot dipping process) 및 열처리 공정, 화학증착법(chemical vapor deposition) 등이 대표적인 예이다. 한편, 기존 공정보다 경제적이고 생산성이 높은 자성코어의 제조를 위해 멜트 스피닝(melt spinning) 공정의 급속응고기술 또는 분말야금 공정을 이용하여 Fe-6.5wt.%Si 합금의 판재를 제조하려는 연구가 활발히 수행되고 있다[4,5]. 본 연구발표에서는 에너지효율이 높고 경제적인 연자성 소재의 개발을 위해 수행되고 있는 Fe-Si계 연자성 분말의 제조 및 성형 공정에 대한 최근 연구 동향을 소개하고자 한다.

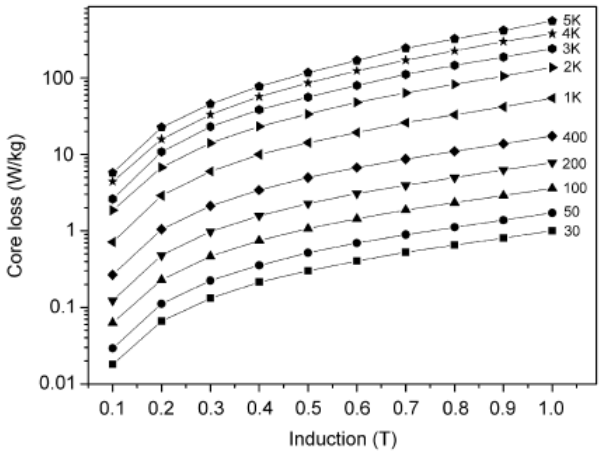

그림 1. 분말압연 Fe-6.5wt.%Si 판재의 주파수별 코어손실[4]

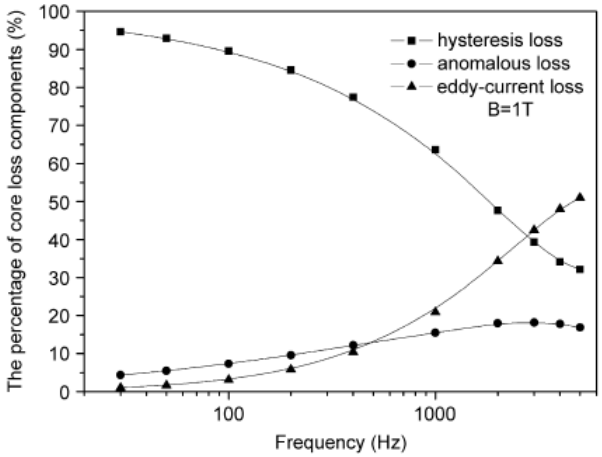

그림 2. 주파수에 따른 분말압연 Fe-6.5wt.%Si 판재의 코어손실 인자들의 영향[4])

2. 분말압연 Fe-6.5wt.%Si판재의 연자성 특성

W.J. Yuan[4] 등은 순철 분말과 Si 분말을 각각 93.5:6.5의 무게비로 혼합한 후에 수평압연한 0.36 mm 두께의 판재를 1273 K에서 3시간 동안 소결한 다음, 이들 판재들을 적층하여 냉간압연 및 1473 K에서 2시간 동안 재소결을 수행했다.

그림 1에 분말압연에 의해 제조된 Fe-6.5wt.%Si 판재의 주파수별 에너지손실의 변화를 나타냈는데, 1,000 Hz, 1 T의 조건에서 코어손실은 11 W/kg으로 CVD법에 의해 제조된 동일 조성의 판재와 동일한 수준이었다.

그림 2에 코어손실에 미치는 히스테리시스손실, 고전와전류손실, 이상와전류손실 등의 영향을 구분하여 주파수에 따른 변화를 나타냈는데, 주파수가 증가함에 따라 히스테리시스손실의 분율은 감소하고 와전류손실의 영향이 증가했는데, 3,000 Hz 이상의 주파수에서는 코어손실에 미치는 와전류손실의 영향이 가장 컸다.

3. 분무성형 Fe-6.5wt.%Si판재의 연자성 특성

C. Bolfarini[5] 등은 분무성형(spray forming) 공정에 의해 Fe-6.5wt.%Si, Fe-6.5wt.%Si-1wt.%Al 판재를 제조한 다음 973 K, 1373 K, 1423 K의 온도에서 1 시간에서 3시간 동안 열처리했다. 분무성형 판재의 경우 A2에 B2로의 규칙/불규칙 전이(disorder/order transition)보다 결정립의 크기가 코어손실에 미치는 영향이 컸으며 Fe-6.5 wt.%Si 판재의 경우 열처리온도가 증가함에 따라 결정립이 증가하여 최대 503 μm였으며, 60 Hz, 1 T의 조건에서 보자력은 45 A/m 코어손실은 1.4 W/kg이었다. 한편, 연성을 향상시키기 위해 Al을 첨가한 Fe-6.5 wt.%Si-1wt.%Al 판재의 경우 1473 K에서 열처리하면 산화가 심하게 발생하였으며, 열처리 온도에 따른 결정립의 성장도 330 μm로 제한되어 보자력 92 A/m, 코어손실 2.3 W/kg으로 연자성 특성이 저하되었다.

4. 요 약

변압기, 전동기 등의 에너지 효율을 향상시키기 위해 400 Hz 이상의 주파수에서 사용하는 자성코어 부품의 수요가 증가함에 따라 Si함량이 높은 연자성 코어에 대한 관심이 증가하고 있으며 냉간압연이 어려운 Fe-6.5wt.%Si의 경제적이고 생산성이 높은 분말 성형공정, 주파수에 따른 철손인자들의 영향 및 미세구조 제어에 대한 연구가 체계적이고 지속적 수행되고 있으며 흥미로운 연구결과가 도출되고 있다.

5. 참고문헌

[1] H. Shokrollahi and K. Janghorban, J. Mater. Proc. Tech., 189 (2007) 1-12

[2] T. Maeda, H. Toyoda, T. Nishioka and A. Ikegaya, SEI tech. review, 60(2005) 3-9

[3] K. Asaka and C. Ishihara, Hitachi Powdered Metals Tech. Report, 4(2005) 3-9
[4] W.J. Yuan, J.G. Li, Q. Shen and L.M, Zhang, J. Magn. Magn. Mater. 320 (2008) 76-80
[5] C. Bolfarini, M.C.A. Silva, A.M. Jorge Jr, C.S. Kiminami and W.J. Botta, J. Magn. Magn. Mater. 320 (2008) e653-e656

본 연구는 지식경제부 소재원천기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.