

안정기용 비정질 합침코어의 자기적 특성

김병철*, 정순종*, 김기욱*, 송재성*, 송용설**, 김병규**

* 한국전기연구소 전기재료연구부 비정질재료연구팀, ** (주) 유유 부설연구소

The Magnetic Properties of Amorphous Molding Cores using for Ballast

B.G. Kim*, S.J. Jeong*, K.U. Kim*, J.S. Song*, Y.S. Song**, B.G. Kim**

* Div. of electric materials, Korea Electrotechnology Research Institute, ** YUYU

Abstract

To produce low loss amorphous molding cores which are used as choke cores in high efficiency electronic ballast for Metal Halide Lamp, the magnetic properties of amorphous molding cores were investigated with the various fabrication methods. The results are as follows : (1) The total weight of molding core gradually increased as molding time increases. (2) The magnetic properties(B_{10} , B_s , B_s/B_{10} , H_c , W_c) of molding core drastically deteriorated. This is presumably due to the compressive stress imposed on amorphous core occurred during epoxy curing treatment. (3) Two step annealing process(curing+field annealing) was more or less effective to recover the damaged properties.

1. 서론

고효율의 고압방전등용 전자식 안정기를 제조하기 위해서는 저손실의 비정질 합침코어를 제작하는 것이 필요하다. 일반적으로 안정기용 자성코어의 제조방법은 합침코어를 만든 후, cutting하여 최종적으로 cut-core를 제조하는 것이다. 지금까지 언급한 사용조건 및 제조방법등을 고려하면, 비정질 소재가 극복하여야 할 다음과 같은 몇가지 중요한 문제점들을 발견할 수 있다.

- (1) 합침에 따른 비정질코어의 손실 증가
- (2) 고주파에 의한 비정질코어의 손실 증가
- (3) cutting에 의해 발생하는 비정질코어의 손상에 의한 손실 증가

다른 전자성재료에 비해 두께가 얇아, 와전류 손실특성이 우수한 것으로 알려진 비정질재료가 curing처리시 발생하는 수지의 급격한 수축률로 인하여 두께가 얇은 비정질재료에게 치명적인 손상을 주는 원인이 되고 있다. 그리고 cutting시 발생하는 용력이 또한 코어의 특성에 악영향을 미치게 된다.

비정질 합침cut-core를 제조하기 위해서는 위에서 언급한 공정을 잘 제어하지 않으면 비정질의 연자기특성에 치명적인 손상을 입힐 수가 있기 때문에 세심하고 철저한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 합침에 따른 손실특성을 개선시키는 것을 목적으로 하고자 한다.

2. 실험 방법

시료는 Allied Signal사에서 시판하고 있는 Fe계 비정질합금인 TCA조성($Fe_{78}Si_8B_{13}$ at.%)의 리본을 구입하여 사용하였다. 이 리본을 폭 4.5 mm로 slitting하여, 일정한 장력으로 winding하여 점적율 약 85 %의 toroid core를 제조하였다. toroid core의 크기는 외경 15 mmφ, 내경 12 mmφ, 폭 4.5 mm로 하였다. 이렇게 제조한 시료를 Fe계 비정질합금의 최적의 열처리조건에서 열처리하여 starting sample로 하였다. 이때 열처리는 380 ℃에서 2 hr 자장중열처리(외부인가자장 10 Oe)를 행하였다. 합침처리는 rotary pump가 부착된 통상적인 진공합침기를 이용하였으며, 이때의 진공도는 760 torr를 유지시켰다. 합침물질은 국도화학에서 생산되는 epoxy수지인 주제(YD 128)와 경화제(H 3326)를 100 : 85의 비율로 혼합한 것으로 하였으며, 수지의 수축율을 크게하여 자기특성의 뚜렷한 변화를 보기 위해 filler는 첨가하지 않았다. curing은 200 ℃에서 1 hr 동안 실시하였다(100, 50 ℃에서는 경화가 일어나지 않았음). 위와 같은 방법으로 제조된 시료들의 자기특성은 B-H meter를 이용하여 B_{10} , B_s , H_c 등을 평가하였으며, 철손은 손실특성측정 장비를 이용하여 측정하였다. 측정값은 각 조건당 3개의 시료를 평가하여 평균치로 하였다. 합침후 리본층간의 합침된 상태는 SEM을 이용하여 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1은 진공중에서 합침시간에 따른 코어 무게의 변화를 나타낸 것이다. 합침시간은 10, 30, 60, 180, 876분으로 하였다. 합침시 코어 무게의 변화량은 10분일때 0.043 g이었으며, 합침시간이 길어짐에 따라 서서히 증가함을 보여주고 있다. 그러나 그 증가량은 매우 작으며, 합침시간 876분의 경우는 0.06 g정도였다. 합침량을 조사한 것은 두가지 측면을 고려하기 위한 것이었다. 첫째, 일정한 점도를 가진 합침액이라고 생각하고 합침량의 증가는 결국 리본층간에 침투하여 들어가는 합침액의 량을 말해주며, 즉 리본층간의 절연특성과 cutting시 cutting면의 상태를 결정하는 요인으로 생각할 수 있다. 다시 말하면, 합침량이 증가할수록 리본층간의 절연특성이 향상될 것이고, cutting시 깨끗한 cutting면을 얻을 수 있게 코어의 기계적인 강

도를 높일 수 있을 것으로 예상된다. 두번째로는 코어의 자기 특성에 관한 것으로 아무래도 함침량이 증가하면 직류자기특성에는 악영향을 미칠 것으로 예상된다. 이와 같이 함침량에 따라 서로 상반되는 영향이 코어에 미치게 될 것으로 예상되기 때문에 함침액에 대한 신중한 선택과 철저한 연구가 필요하다고 생각된다.

그림 2는 함침시간에 따른 직류자기특성의 변화(B_{10} , H_c)를 조사한 것이다. 함침처리하지 않은 시편에서 B_{10} , H_c 값은 15.6 kG, 35 mOe가 각각 얻어졌다. 먼저 B_{10} 의 경우 함침시간 10분부터 급격히 특성이 열화되기 시작하여 시간이 길어짐에 따라 아주 서서히 감소함을 알 수 있다. 함침시간 10분과 876분의 경우 약 9.6 kG, 8.2 kG가 각각 얻어졌다. 보자력의 경우도 이와 같은 양상을 보여주고 있다. 10분간 함침함에 따라, H_c 는 89 mOe로 급격히 증가하고, 60분간 함침하면 118 mOe로 증가하며, 그 이후의 시간에는 거의 변화없이 일정한 값을 나타낼 수 있다. 위의 결과들과 같이, 함침에 의한 자기특성의 열화는 아주 뚜렷하게 나타나며, 그 정도가 치명적임을 알 수 있다.

그림 3은 각형비(B/H_{10})의 함침시간에 따른 변화를 나타낸 것이다. 각형비는 재료의 자기이방성을 나타내는 척도라고 할 수 있다. 초기 함침하지 않은 시편의 경우 외부인가장장 10 Oe하에서 자장중 열처리하였기 때문에 0.68 정도의 비교적 높은 각형비가 관찰되었다. 보통 TCA 조성에서 얻어지는 0.85의 각형비보다는 다소 떨어진 각형비특성을 보인다고 말할 수 있다. 이것은 소재자체의 문제라고 생각된다. 함침에 의해 각형비가 0.5이하로 현저히 감소하는 것은 함침공정(함침+curing처리)이 비정질리본의 자기이방성 특성에 악영향을 미침을 알 수가 있다. 그 mechanism에 대한 명확한 설명은 할 수가 없으나, 정성적으로는 다음과 같이 설명할 수 있다. 초기 자장중 열처리에 의해 형성된 180° 자기도메인이 리본층간에 침투한 함침액의 경화에 따른 수축으로 인하여 리본에 압축응력을 발생시켜 자기도메인의 원활한 이동을 방해하기 때문이라고 생각할 수 있다.

그림 4는 함침시간에 따른 코어철손의 변화를 나타낸 것이다. 이때의 측정 조건은 60 Hz, 0.5 T로 하였다. 비함침처리한 시편은 0.104 W/kg의 철손치를 나타내며, 함침함에 따라 급격히 증가함을 알 수가 있다. 10분간 그리고 876분간 함침처리하면 각각 0.18, 0.285 W/kg의 철손치가 얻어졌다. 이 결과는 앞의 결과들을 반영하다고 말할 수 있다.

자기특성의 열화를 막는 방법을 모색하기 위하여, 대기중에서 짧은 시간 함침하는 방법을 시도하여 보았다.

그림 5에 대기중에서 30, 600초 함침한 시료의 무게변화를 나타내었다. 비교를 위하여 진공중에서 10분간 함침한 시료의 무게변화를 같이 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 30, 600초에서 각각 0.0401, 0.0386 g의 무게변화가 관찰되었다. 즉 시간에 따라 큰 차이가 없는 것을 알 수가 있다. 그리고 한가지 언급하여야 할 사실은 그림에서도 알 수 있듯이 함침시간 600초의 경우 진공중 함침과 대기중 함침에는 무게변화량의 차이가 크게 없었다(이때 진공중 함침시 무게 변화량은 0.043 g이었다).

그림 6에 대기중 함침에 의해 제조된 코어의 직류자기특성을 조사하였다. 역시 함침에 의해 B_{10} , H_c 특성이 급격히 열화되며, 진공중 함침한 시료와 비교하여 볼 때 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다. 30초간 대기중 함침한 코어의 리본을 한층씩 벗겨 절연층 형성과 함침액의 침투상황을 관찰한 결과, 짧은 함침시간에도 불구하고 리본간 깊숙히 침투되어 있었으며, 거의 완전한 절연층이 형성되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 이

런 원인에 의하여 직류자기특성이 열화되었다고 생각된다.

지금까지의 함침에 따른 자기특성의 열화현상을 검토하고, 함침코어의 자기특성을 개선하기 위하여, 새로운 공정을 도입하여 그 자기특성변화를 관찰하였다. 새로운 공정은 함침후 재열처리하여 특성의 향상을 도모하였다. 본 연구에서 도입한 열처리공정은 진공중 함침한 시료를 200 °C에서 1 hr--(1)(380 °C에서 2 hr--(2)) 자장중 열처리하는 방법이다.

그림 7에는 각각의 조건으로 제조한 시료의 B_{10} 특성을 비교한 것이다. 4번 시료에서 특성이 급격히 증가함을 알 수 있다. (2)번의 공정을 적용함에 따라 약 20 %의 B_{10} 값 증가를 가져왔다. 그 값은 12.5 kG였다. 그러나 (1)번의 공정은 특성 향상에 도움이 되지 않았다.

보자력의 변화를 그림 8에 정리하였다. 2)공정에 의해 H_c 가 다소 감소하였으며, 그 값은 약 70 mOe가 얻어졌으나, 함침하지 않은 시료에 비교해 볼때 여전히 2배 정도의 높은 값을 나타내고 있다.

그림 9에는 철손특성을 비교하여 나타내었다. 그림 7과 8로부터 예측할 수 있듯이, (2)번 공정을 거친 시료에서 가장 적은 철손특성을 나타내었다. 그 값은 0.144 W/kg이었다. 다른 공정의 시료에 비해 크게 개선되어 있으나, 함침하지 않은 것에 비해서는 약 40 %정도의 큰 값을 보여주고 있다. 이상과 같이 함침한 시료의 특성 개선을 위하여 자장중 열처리공정을 도입한 결과 200 °C에서는 큰 효과를 보지 못하였으나, 380 °C에서는 어느정도의 개선효과를 보았다고 말할 수 있다. 이것은 재열처리시 함침공정에서 리본에 인가된 내부응력이 어느정도 완화되며, 더우기 외부자장을 10 Oe 정도 가하여 주었기 때문에 유도자기이방성이 다소 회복되었기 때문이라고 생각된다.

그림 10에 함침코어의 리본층간에 함침액의 침투상태를 관찰하기 위하여 코어 단면을 절단하여 SEM으로 조사하였다. 각 조건별로 단면사진을 나타내었다. polishing작업에 어려움이 있어 명확한 사진은 얻을 수가 없었으나, 리본층간에 함침액이 모든 제조조건에서 동일하게 존재함을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 이미 함침코어의 peeling실험에서도 확인된 바 있다.

4. 결 론

고효율의 고압방전등 전자식 안정기용 저손실 비정질 함침 코어를 제조하기 위하여 함침에 의한 자기특성의 변화를 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 함침처리함에 따라 자기특성(B_{10} , B_r , B_r/B_{10} , H_c , W_c)이 급격히 열화하였다. 이것은 함침액이 경화하는 동안에 일어나는 수축에 의해 비정질리본에 압축응력이 인가되기 때문이라고 생각된다.
- (2) 진공중 함침한 시료를 380 °C에서 2 hr 자장중 열처리하는 방법을 적용함에 따라 연자기 특성이 다소 회복되었다.

5. 참고문헌

- [1] 増本 健, 鈴木謙朗, 藤森隆安, 橋本功二, アモルファス金屬の基礎, オーム社, 113 (1986)
- [2] 월간 플라스틱사이언스, 플라스틱 해설과 물성집, 한국플라스틱기술정보센터, 729 (1992)
- [3] Yamasita T, Matsuura T, Nagayoshi H, Nakazawa K, Yoshida Y, Takaoka Review, vol. 36, no. 3, 195 (1989)
- [4] Y. Kato, H. Octake, J. Illum. Engng. Inst. Jpn. Vol. 72, No. 6, 293 (1988)

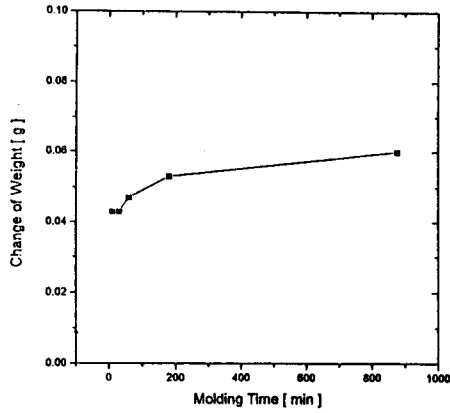


Fig. 1 The changes of weight of cores molded in vacuum as a function of molding time

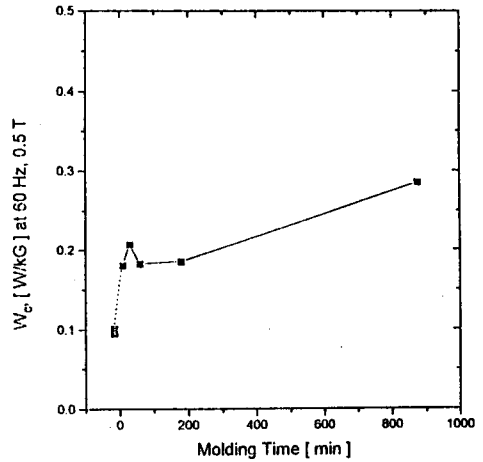


Fig. 4 The core losses of cores molded in vacuum as a function of molding time

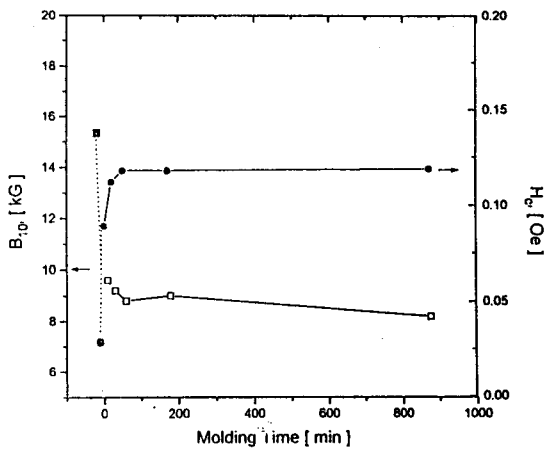


Fig. 2 The DC magnetic properties on cores molded in vacuum as a function of molding time

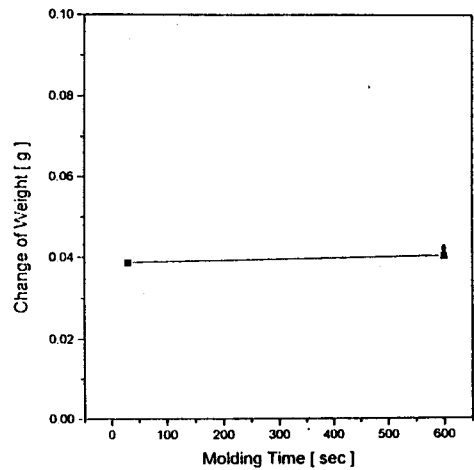


Fig. 5 The changes of weight of cores molded in air as a function of molding time

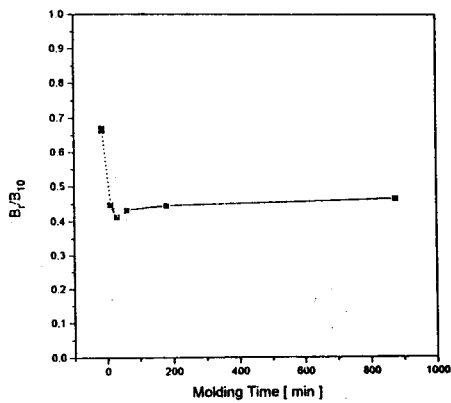


Fig. 3 The remanent ratio of cores molded in vacuum as a function of molding time

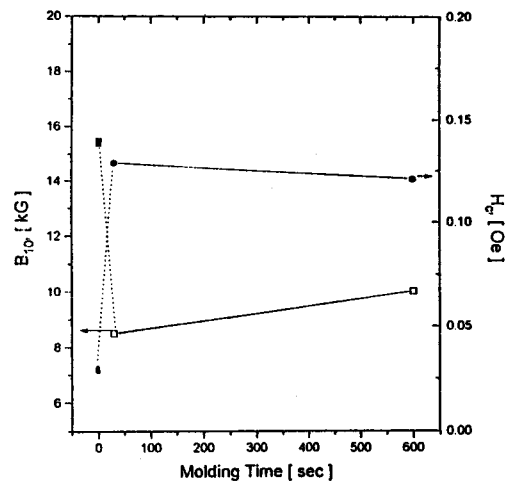


Fig. 6 The DC magnetic properties of cores molded in air as a function of molding time

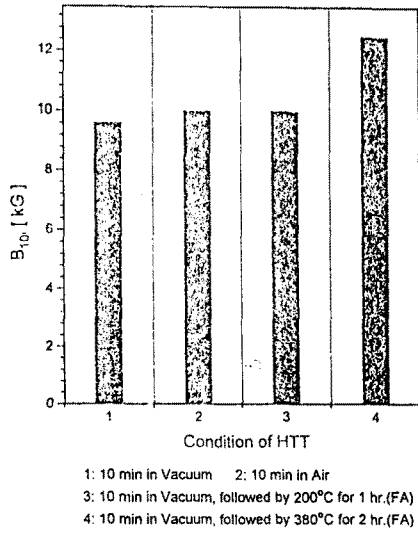


Fig. 7 The flux densities at 10 Oe of cores molded in various conditions

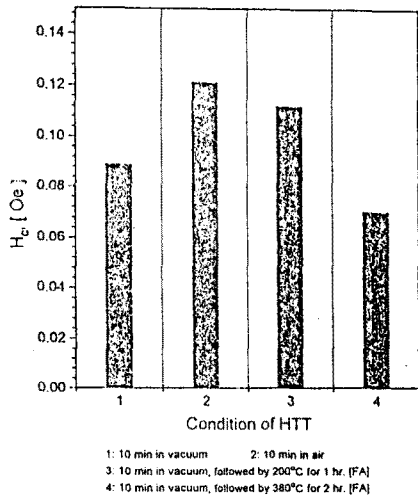


Fig. 8 The coercive forces of cores molded in various conditions

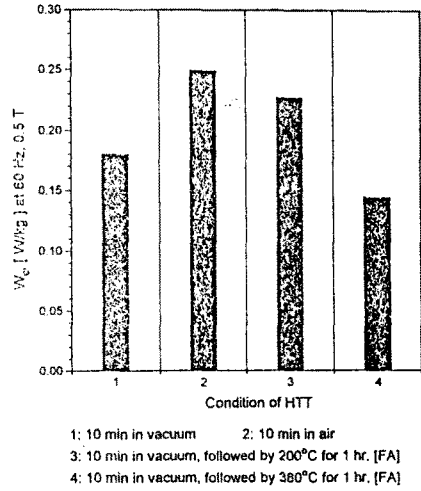


Fig. 9 The core losses of cores molded in various conditions

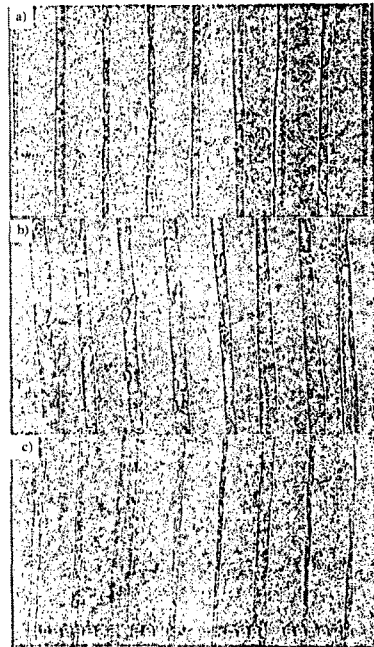


Fig. 10 The SEM images of cross section planes of cores molded in various conditions
 a) 30 sec molded in air, b) 10 min molded in vacuum
 c) 876 min molded in vacuum