

모터 코어용 연자성체의 열처리 특성

이규석, 차현록, 윤철호, 정태욱
한국생산기술연구원 부품소재팀

Characteristics of Heat-Treatment using Soft Magnetic Composites for Motor Core

Kyu-Seok Lee, Hyun-Rok Cha, Cheol-Ho Yun, Tae-Uk Jung
Korea Institute of Industrial Technology

Abstract - 본 논문은 모터 코어용으로 사용되어지는 연자성체 분말의 열처리 조건에 따른 기계적 특성 및 자기적 특성에 대한 논문이다. 연자성체는 모터 코어형상 제작이 일반 실리콘 강판에 비해 우수하고 고주파에서 자기적 특성이 우수한 것으로 나타났다. 따라서 현재 모터 코어용으로 많은 제작이 이루어지고 있다. 이런 연자성체는 압분 압력 및 열처리 조건 등 다양한 제조 공정에 따라 상이한 자기적 특성결과를 가져온다. 따라서 본 논문에서는 다양한 열처리 조건 중에서 연자성체의 각 온도별, holding time별 조건에 대한 자기적 특성 및 기계적 특성을 알아보고, 온도와 holding time에 대해 가장 적합한 연자성체 열처리 조건을 연구하였다. 또한 열처리 시료의 재열처리를 통한 시편의 자기적 특성을 연구 제시하였다.

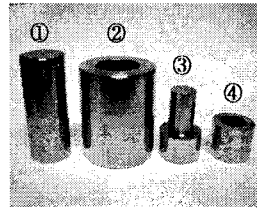
1. 서 론

SMC(Soft Magnetic Composites)는 순철 분말에 전기적 절연 코팅을 실시한 소재로 모터 코어용으로 많은 연구가 진행중에 있다. 순철 분말은 기존의 laminated된 강판에 비해 3차원 구조 형상이 용이할 뿐만 아니라 전기적 특성 또한 고주파 영역에서 좋은 특성을 나타냄을 알 수 있다 [1,2,3,4]. 하지만 이 SMC, 즉 순철 분말은 윤활제의 함량 및 압력, 열처리 조건 등 다양한 제조 공정에 따라 다양한 결과를 나타냄을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 순철 분말(SOMALOY™ 500 [5])에 윤활제인 Kenolube가 0.5% 함유된 premixed된 시료를 가지고 각 열처리 조건 및 holding time에 따른 SMC의 자기적 특성 및 기계적 특성을 연구하였다.

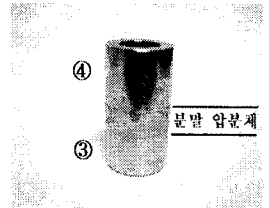
2. 본 론

2.1 시료 성형

현재 가장 많이 적용 되고 있는 성형 방법인 압분(Compaction)방법을 적용 하였다. 금형 mold는 외경 25Φ, 내경 15Φ로 제작 후 금형 내에 분말(Powder)를 삽입하고 고압으로 (796Mpa) 눌러 찍어 내는 방법을 사용 하였다. 분말 압분은 UTM 장비를 사용 하였으며 SMC 500ke 분말 20g을 금형 내부에 삽입한 후 성형 하였다. 성형 후 분말의 압분된 형태와 금형 사진은 다음 사진과 같다. 그림 1은 전체적인 금형들의 부분들의 모습이다. ①금형은 분말을 넣은 후 press하거나 내부 금형을 빼는데 사용하는 upper punch 이다. ②금형은 외부 금형으로 ③,④의 금형이 ②금형 내부로 들어가게 되고 ③, ④ 금형 사이에 분말이 들어가게 된다. 그림 2는 금형 ③, ④번 사이에 분말이 들어가 압분 된 상태를 보여준다. 또 그림 3은 압분체의 시료로 사용되는 SMC 500Ke 0.5%의 시료이며, 그림 4는 796Mpa의 압력으로 금형 성형 시 제작되어진 시료의 열처리 전 모습이다.



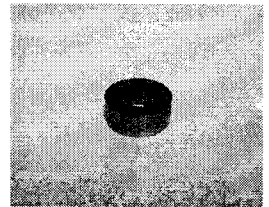
[그림 1] 금형



[그림 2] 금형속 압분체



[그림 3] SMC 500 Ke 0.5%



[그림 4] 성형된 압분체

성형된 압분체는 밀도 및 경도가 낮기 때문에 아래와 같이 열처리를 실시 하였다.

2.2 분말 열처리 및 측정 시료 제작

분말 압분된 압분체(SMC500 Ke 0.5%)를 가지고 대기 중 5℃/min 의 승온 속도로 각 온도까지 상승 시킨후 지정한 온도에서 온도 유지시간을 거친 후 고온로 안에서 자연 냉각 시키는 방법을 이용하였다. 온도 상승 시간이란 설정한 온도까지 열을 가하는데 걸리는 시간이며, 온도 유지 시간(Holding time)이란 동일온도에서 얼마의 시간동안 열처리를 할 것인지를 나타내며, 온도 하강 시간이란 고온로 내에서 자연 냉각되는 시간을 말한다.

동일 온도 유지시간과 각 온도별 열처리에 대한 조건은 표1과 표2와 같다.

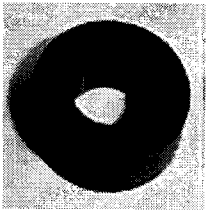
	온도 상승시간	온도 유지시간	온도 하강시간	비고
500℃ 20분	1시간 40분	20분	고온로 자연냉각	
500℃ 40분	1시간 40분	40분	고온로 자연냉각	
500℃ 60분	1시간 40분	60분	고온로 자연냉각	
500℃ 90분	1시간 40분	90분	고온로 자연냉각	

[표 1] 온도 유지 시간별 열처리 시간

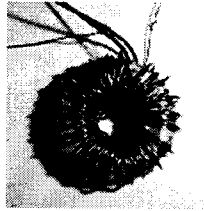
	온도 상승시간	온도 유지시간	온도 하강시간	비고
300 ℃	1시간	1	고온로 자연냉각	
400 ℃	1시간 20분	1	고온로 자연냉각	
450 ℃	1시간 30분	1	고온로 자연냉각	
500 ℃	1시간 40분	1	고온로 자연냉각	
550 ℃	1시간 50분	1	고온로 자연냉각	
600 ℃	2시간	1	고온로 자연냉각	

[표 2] 각 온도별 시료 열처리 시간

압분된 시료를 위와 같은 조건에서 열처리 후 철손 측정 장비를 이용하여 시편의 자기적 특성을 측정 하였다. 철손 측정은 MPG-100D 장비로 측정을 하였으며, 만들어진 시편의 철손 측정을 위하여 아래와 같이 권선 작업을 실시 하였다. 그림 5는 성형 후 열처리된 시편의 사진이며, 그림 6은 권선 작업을 실시한 시편이다. 권선 작업은 Primary 20turn, Secondary 60turn으로 Primary 권선 사이에 secondary 권선이 3turn씩 위치하도록 권선 작업을 실시한 후 철손을 측정하였다. Primary 권선의 굵기는 0.65mm이며, Secondary 권선의 굵기는 0.28mm이다.



[그림 5] 열처리 후 시편

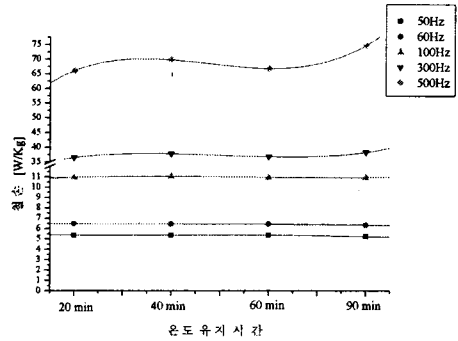


[그림 6] 권선 작업

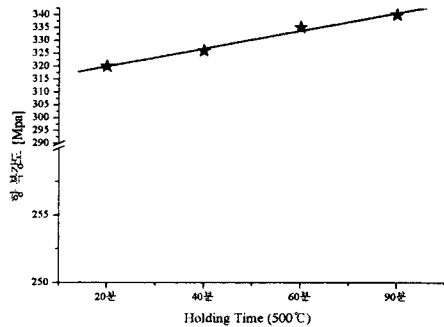
또한 기계적 강도 특성 측정을 위하여 여분의 시편을 각각의 열처리 조건에 맞추어 열처리 한 후 기계적 강도, 즉 항복 강도를 측정 하였다. 항복 강도란 시편에 변형이 가기 시작하는 지점을 말하며, 연자성체로 모터 코어 제작 시 모터코어가 변형이 되면 안 되기 때문에 기계적 강도 또한 연자성체로 모터 코어 제작 시 중요한 부분을 차지한다. 항복 강도의 측정은 UTM 장비로 실시하였으며 stroke speed를 5mm/min로 일정하게 유지한 다음 측정 하였다.

2.2.1 유지 시간별 열처리 특성 평가

열처리의 공정 변수 중 유지 시간은 제조에 따른 제조 단가를 결정 짓는 중요한 요소이기 때문에 제조의 측면에서는 최소의 유지시간의 선정이 필수적으로 요청되어진다. 그러나 지나친 유지시간의 저감은 제품의 전체적인 특성 저감을 수반 할 수 있으므로 시편의 본래 설계 목적대로의 특성을 나타내면서 최소의 유지 시간을 선정하는 것이 필수적이라 하겠다.



[그림 7] 온도 유지시간별 철손



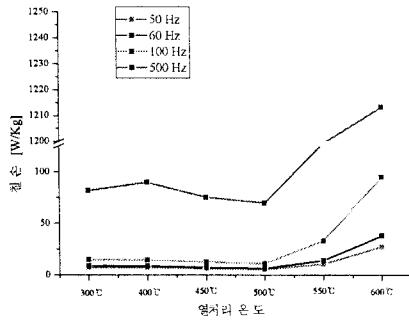
[그림 8] 온도 유지시간별 항복 강도

그림 7은 유지 시간(holding time)별 전기적 특성을 나타내는 철손 특성에 대해서 고찰 하였다. 철손 특성을 보면 유지 시간이 증대 되면서 철손이 감소 하다가 유지 시간이 길어지면 철손이 증대 되는 것을 알 수 있다. 그러나 그 차가 매우 작아, 가능한 범위 내에서 짧은 쪽으로 선정 하는 것이 옳을 것으로 사료 된다. 그러나 60분 이상의 유지 시간 증대는 100Hz이상의 주파수에서는 큰 철손의 증대를 유발 시키는 것을 볼 수 있었다.

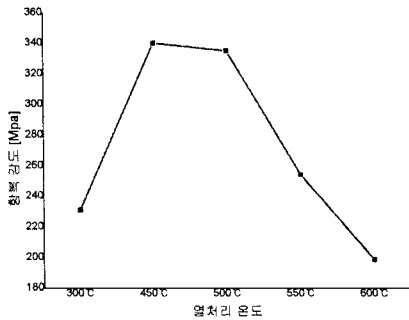
그림 8은 유지시간에 따른 항복 강도 특성이다. 유지 시간이 증대 될수록 항복 강도는 비례적으로 증대 되는 것을 알 수 있다. 따라서 높은 항복 강도를 선정하기 위해서는 긴 유지 시간을 지정 하는 것이 옳을 것으로 보여진다.

2.2.2 온도별 열처리 특성 평가

그림 9는 열처리 온도에 따른 철손 특성을 나타낸 그래프이다. 최적 열처리 조건을 선정하기 위해서 본 연구에서는 300℃, 400℃, 450℃, 500℃, 550℃, 600℃에서 유지 시간 60분 조건으로 각각 특성을 평가 하였다. 특히 세밀한 온도에 따른 특성을 고려하기 위해서 600℃까지의 미세 구간까지 고려하여 온도별 특성을 측정 하였다. 그림에서 알 수 있듯이 철손은 500℃에서 가장 낮게 나타나며, 이는 주파수가 다른 조건 50 ~ 500 Hz까지 조건에서도 동일한 특성을 지닌다. 이를 통해 미루어 볼 때 열처리 온도는 500℃에서 가장 우수한 것으로 나타났다. 또한 주파수가 높아질수록 철손값의 변화량은 더욱 커지는 것을 알 수 있었다. 기계적 항복 강도 특성은 450℃ ~ 500℃ 사이가 가장 높았으며 300℃ 및 550℃이상의 온도에서는 강도가 급격히 떨어짐을 알 수 있다.



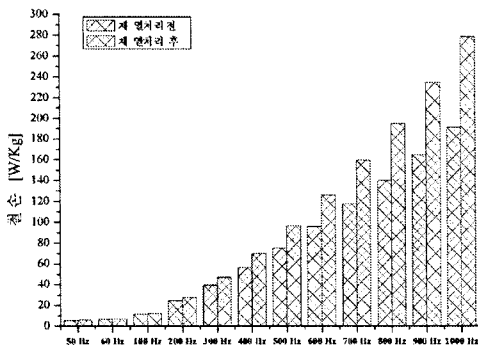
[그림 9] 온도별 열처리 조건에 따른 주파수별 철손



[그림 10] 열처리 온도별 시편의 항복 강도

2.2.3 재열처리 특성 평가

열처리 시 발생 될 수 있는 가공 손실을 최소화 하고 그 영향도를 조사 하기 위해서 열처리된 시료를 재열처리를 실시하였다. 열처리 조건은 앞에서 설정된 500°C 60min 조건을 2번 실시 하였다. 그림 11은 재열처리 유무에 따른 철손의 변화량을 나타낸 것이다. 그래프에서 보듯이 열처리 후 철손이 매우 증대 되는 것을 알 수 있다. 이는 가공시 발생하는 응력에 의한 손실에 대한 열처리를 통한 보상 효과 보다는 재열처리에 따른 손실 발생이 더욱 커져서 그렇게 된 것으로 사료 된다. 이는 열처리시 동일 온도조건에서 유지 시간이 60min 이상시 철손에 상승으로 이어지는 특성과 결부 지어 볼 때 그 원인이 재열처리를 통한 철손 저감 효과 보다는 유지 시간의 지연과 같은 이유로 인해서 철손이 증대 되는 이유이기 때문으로 사료 된다.



[그림 11] 온도 재 열처리시 주파수별 철손

3. 결 론

온도별 열처리 조건 시료에서 철손의 값은 500 ℃에서 가장 낮으며 600 ℃ 이상 철손 값이 급상승한다. 그리고 온도별 열처리 조건 시료의 항복 강도 특성은 450 ℃~500 ℃ 사이의 값이 좋다. 온도 유지 시간 (Holding time) 별 철손 데이터 값은 유지시간에 상관없이 거의 유사하게 나타난다. 하지만 온도 유지 시간이 길어지면 항복 강도도 비례적으로 높아진다. 열처리후와 재열처리후의 철손 비교시 재 열처리후의 철손이 더 나빠짐을 볼 수 있다. 따라서 SMC 500 Ke(0.5%)의 가장 적합한 열처리 조건을 정리하자면 온도는 500 ℃에서 온도 유지시간은 40~60분 사이로 열처리 하는 것이 가장 최적의 조건으로 판명 되었다. 그리고 가공 손실의 최소화를 위해 재 열처리를 하는 것은 분말 압분체의 자기적 특성을 더 나쁘게 함으로 재열처리 공정은 재고 되어야 한다고 본다.

[참 고 문 헌]

- [1] A.G. Jack, " Experience with the use of soft magnetic composites in electrical machines," in Proc. Int. Conf. on Electrical Machines, Istanbul, Turkey, pp. 1441-1448, 1998
- [2] T. A. Lipo, "Innovative Concepts Utilizing Soft Magnetic Composites", Ground-Automotive Power and Energy Symposium, July 22, 2005
- [3] M. Persson, P. Jansson, A.G. Jack, B.C. Mecrow, "Soft magnetic composite materials-use for electrical machines," 17th International Conference on Electrical Machines and Drives, Conference Publication no.412, pp. 242-246, 1995
- [4] A.G. Jack, B.C. Mecrow, C.P. Maddison, N.A. Wahab, Claw Pole armature permanent magnet machines exploiting soft iron powder metallurgy, Electric Machines and drives Conference Record, IEEE International, MA1/5.1-MA1-5.3, 18~21 May, 1997
- [5] "Soft magnetic composites from Hoganas metal powders -SOMALOY™ 500," Catalogue SMC 01, Hoganas AB, Sweden.