

Fe-17Cr-2M(M = Si, Nb, Mo)합금 분말 소결체의 교류 자기 특성

김정곤 · 김택기

충남대학교 공과대학 금속공학과, 대전 305-764

조용수

동부전자, 제품기술부

(2000년 10월 20일 받음, 2000년 11월 14일 최종수정본 받음)

Fe-17Cr-2M(M = Si, Nb, Mo)합금분말을 Electrode Rotating Atomizer로 제조한 후 성형하여 소결한 시편의 첨가원소, 성형 압력 및 소결온도에 따른 교류자기특성의 변화를 체계적으로 조사하였다. 제조된 Fe-17Cr-2M(M = Si, Nb, Mo)합금분말의 형상은 구형이며, 포화자화값은 Mo와 Nb를 첨가한 Fe-17Cr-2Mo과 Fe-17Cr-2Nb의 경우 약 155 emu/g로 Si를 첨가한 경우보다 크다. 성형압력 12 ton/cm², 소결온도 1200 °C에서 제조된 Fe-17Cr-2M(M = Si, Nb, Mo)합금분말 소결체의 진폭비 투자율은 주파수, $f = 1$ kHz에서 3~5 Oe의 인가자장 범위에서 가장 크다. 전력손실은 인가자장 $H_a = 5$ Oe, 주파수 $f = 1$ kHz에서 Fe-17Cr-2Nb 경우 40 mW/cc로 Si이나 Mo를 첨가한 경우 보다 약 1/2값을 나타낸다.

I. 서 론

Fe-Cr합금은 내식성이 우수한 연자성재료로써 열악한 환경 하에서 사용되는 전자부품 응용에 기대되고 있다[1]. 최근 연자성 Fe-Cr합금의 연구는 고주파 영역에서의 동적 자기특성과 내식성의 향상 및 다량의 Cr 함유량에 따른 가공성 개선에 대하여 진행되고 있다[2, 3]. 연자성 Fe-Cr합금의 자기특성과 가공성의 향상을 위하여서는 Cr의 함유량이 적은 것이 요구되어 Fe-13Cr합금의 관한 연구결과를 이미 보고한바 있다[4]. 한편 연자성 Fe-Cr합금의 내식성의 향상을 위하여서는 Cr의 함유량이 많은 것이 요구되거나 비자성원소인 Cr의 첨가에 따른 자기적특성의 열화가 우려된다.

본 연구에서는 우수한 내식성을 갖는 Fe-17Cr합금에 Si, Nb, Mo를 첨가하여 합금 분말을 제조하여 소결한 후 첨가원소, 성형 및 소결 조건에 따른 포화자화와 투자율 및 전력손실의 주파수 의존성을 조사하였다.

II. 실험방법

Fe, Cr, Si, Nb, 및 Mo를 중량비로 Fe-17Cr-2M(M = Si, Nb, Mo)이 되도록 각각 평량한 후 Plasma Electrode Rotation Atomizer에 의해 150 μ m이내인 미세립의 분말로 제조하였다. 합금분말은 7 ton/cm², 10 ton/cm², 12 ton/cm² 및 15 ton/cm²의 성형압력 하에서 각각 외경 20 mm, 내

경 15 mm의 자기 코아로 제작한 후, 10⁻⁵ torr의 진공에서 1100 °C, 1150 °C, 1200 °C 및 1250 °C의 온도에서 각각 1시간동안 소결 하였다. 제조된 분말의 형상과 크기는 주사전자현미경으로 관찰하였으며, 기공율은 PIAS (Personal Image Analysis System)와 KIT-500을 이용하여 조사하였다. 포화자화는 진동시편자력계(LDJ model 9600)를 사용하여 최대 8 kOe의 인가 자장에서 측정하였다. AC B-H Loop Analyer(Iwatsu SY-8232)를 이용하여 교류 인가자장에 따른 자화, 교류자기이력손실, 보자력 및 진폭비투자율을 각각 측정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

Plasma Electrode Rotating Atomizer에 의해 제조된 Fe-17Cr-2M(M=Si, Nb, Mo)합금분말은 150 μ m 이하의 크기로 그림 1과 같이 균일한 구형의 형상으로 표면이 깨끗하다. Fe-17Cr에 다른 원소를 첨가한 경우도 그림 1과 같은 결과가 얻어지며, 수분사법에 의해 제조된 분말보다도 훨씬 더 구형에 가깝다[6].

제조된 17Cr-Fe-2M(M = Si, Nb, Mo)합금분말의 포화자화, 큐리온도 및 결정구조를 조사한 결과는 Table I과 같다.

제조된 17Cr-Fe-2M(M = Si, Nb, Mo)합금분말의 결정구조는 모두 bcc 단일상의 결정구조를 가지고 있으며, 포화자화값은 Fe-17Cr-Mo합금 분말이 158 emu/g으로 가장

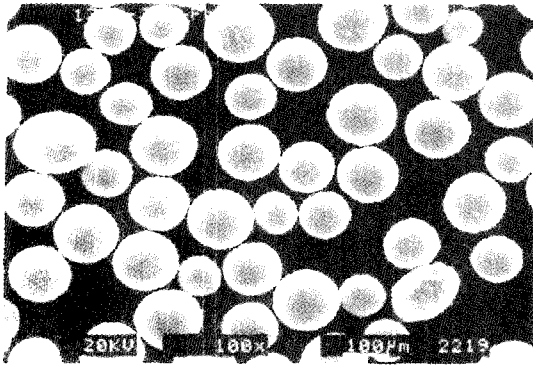


Fig. 1. SEM photographs of Fe-17Cr-2Mo alloy powder.

Table I. Saturation magnetization, M_s , Curie point, T_c and crystalline structure of Fe-17Cr-2M(M = Si, Nb, Mo) alloy powder

Samples (wt%)	M_s (emu/g)	T_c (°C)	Structure
17Cr-2Si-Fe	134	670	bcc
17Cr-2Nb-Fe	155	685	bcc
17Cr-2Mo-Fe	158	700	bcc

크며 Si를 첨가한 Fe-17Cr-2Si의 경우 가장 적은 값을 나타낸다. 이것은 Slater-Pauling곡선으로부터 Fe-17Cr합금 분말의 포화자화가 약 165 emu/g으로 예상되나 첨가원소에 의하여 자화가 감소한 것으로 판단된다. 특히 Si를 첨가한 경우가 Mo이나 Nb의 경우보다 자화가 감소한 것은 Si의 원자량이 Mo이나 Nb보다 월등히 적어 at%의 증가에 의하여 Fe원자의 자기모멘트의 감소가 큰것에 기인한 것으로 고찰된다.

Fe-17Cr-2M(M = Si, Nb, Mo)합금분말을 성형압력을 변화시켜 각각 성형한 후 1200 °C에서 소결한 소결체의 초투자율의 첨가원소에 따른 변화를 조사한 결과는 그림 2와 같다.

그림 2에서 Fe-17Cr-2Si 합금분말 소결체의 초투자율은 성형압력이 7 ton/cm²에서 680으로 Nb와 Mo를 첨가한 경우 보다 크고 성형압력의 증가에 따라 감소하는 경향이 있다. 한편 Fe-17Cr-2Nb와 Fe-17Cr-2Mo 합금분말 소결체의 초투자율은 성형압력 12 ton/cm²에서 각각 230과 330으로 가장 크다. 성형압력 12 ton/cm², 소결온도 1200 °C에서 제조된 17Cr-Fe-2M(M = Si, Nb, Mo)합금분말 소결체의 주파수 1 kHz에서 인가 자장의 변화에 대한 진폭비 투자율의 변화를 조사한 결과는 그림 3과 같다.

그림 3에서 진폭비 투자율은 첨가원소의 종류에 관계없이 인가자장이 증가할수록 증가하여 3~5 Oe에서 최대값

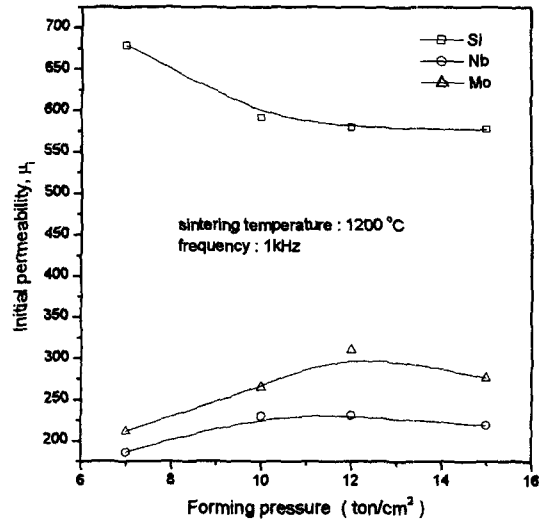


Fig. 2. Initial permeability of the sintered Fe-17Cr-2M (M = Si, Nb, Mo) alloys as a function of frequency.

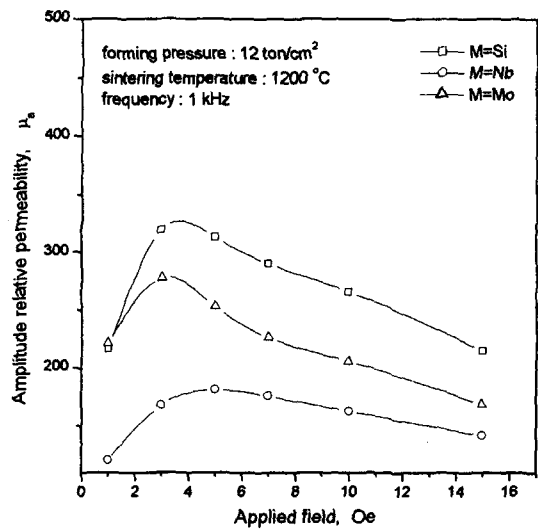


Fig. 3. Amplitude relative permeability of the Fe-17Cr-2M (M=Si, Nb, Mo) alloys as a function of applied field.

을 나타낸다. Fe-17Cr-2Si합금분말 소결체의 진폭비 투자율은 인가자장 3 Oe에서 320으로 Nb이나 Mo를 첨가한 경우보다 크고, Fe-17Cr-2Nb의 경우 5 Oe에서 180이며 Fe-17Cr-2Mo의 경우 3Oe에서 280의 최대값을 각각 나타낸다. 12 ton/cm²에서 성형한 17Cr-Fe-2M(M = Si, Nb, Mo)합금분말 소결체의 진폭비 투자율을 인가자장 5 Oe에서 소결온도와 주파수에 따른 변화를 조사한 결과는 그림 4와 같다.

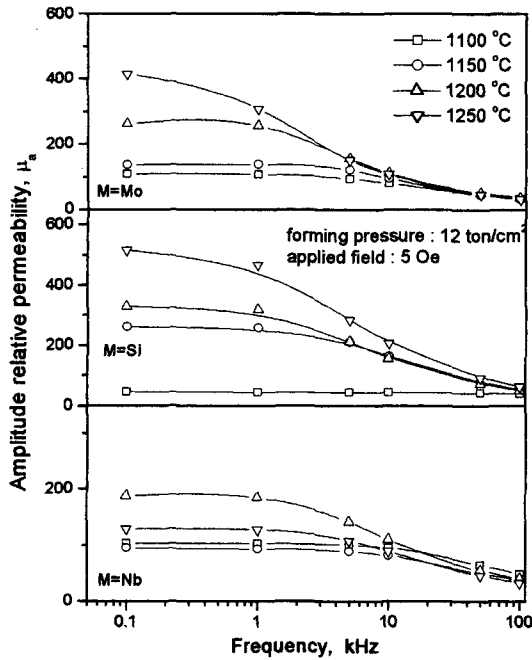


Fig. 4. Amplitude relative permeability of the sintered Fe-17Cr-2M (M=Si, Nb, Mo) alloys as a function of frequency.

그림 4에서 Fe-17Cr에 첨가한 원소에 관계없이 주파수 증가에 따라 진폭비 투자율은 감소하며, 주파수가 1 kHz 이상에서 급격히 감소함을 알 수 있다. 첨가원소가 Si와 Mo인 경우 소결온도가 높아질수록 진폭비 투자율이 증가하지만 Nb를 포함하는 경우 1200 °C에서 최대가 된 후 오히려 감소하는 경향이 있다. Fe-17Cr-2Si합금분말 소결체의 진폭비 투자율은 1250 °C에서 470이고, Fe-17Cr-2Nb의 경우 1200 °C에서 180이며 Fe-17Cr-2Mo의 경우 1250 °C에서 310의 최대값을 각각 나타낸다. 이것은 소결체 내의 입자간의 확산에 의한 결합과 재결정립의 형성이 소결온도 1250 °C까지 이루어지는 것으로 생각된다. 그러나 1200~1250 °C에서 진폭비 투자율의 증가폭이 감소하는 것으로 보아 1250 °C 이상의 소결온도에서는 감소할 것으로 추정된다.

제조된 17Cr-Fe-2M(M = Si, Nb, Mo)합금분말을 이용하여 성형압력 12 ton/cm²에서 자기코어를 성형하여 10⁻⁵ ton의 진공분위기에서 소결온도의 변화에 따라 소결한 자기코어 시편을 주파수 1 kHz, 인가자장 5 Oe에서 자화값을 측정된 결과를 그림 5에 나타내었다.

그림 5에서 자화값은 첨가원소에 관계없이 상승하며, 소결온도가 높아질수록 자화값은 증가한다. 이것은 소결온

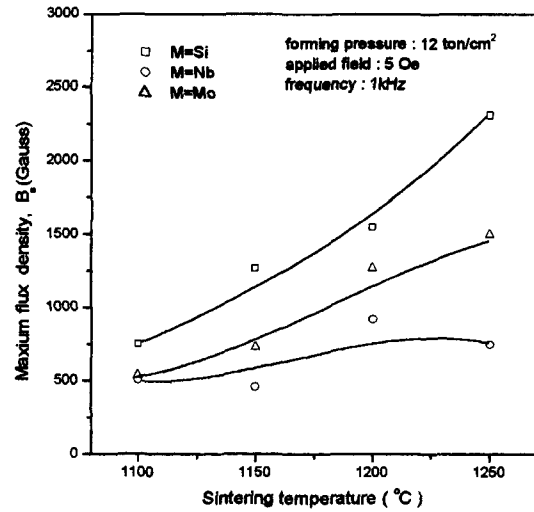


Fig. 5. Maximum magnetic induction field of the sintered Fe-17Cr-2M(M=Si, Nb, Mo) alloys as a function of sintering temperature.

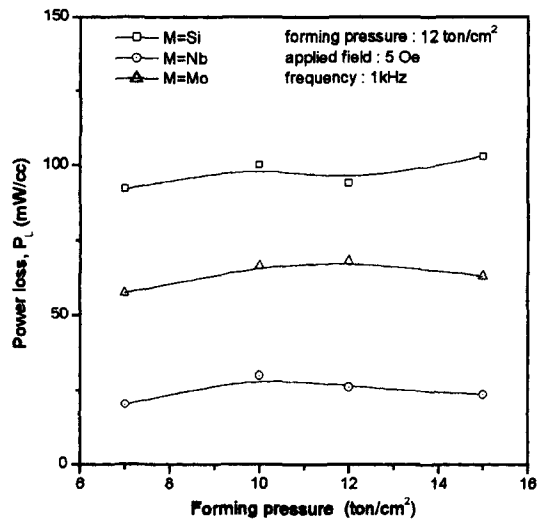


Fig. 6. Power loss of the sintered Fe-17Cr-2M(M=Si, Nb, Mo) alloys as a function of forming pressure.

도의 상승에 따라 소결밀도가 증가하기 때문이다. Fe-17Cr-2Si합금분말 소결체는 1250 °C에서 2300 G이고, Fe-17Cr-2Nb 및 Fe-17Cr-2Mo합금분말 소결체는 각각 900 G와 1500 G이다.

성형압력을 변화하여 1200 °C에서 소결한 17Cr-Fe-2M (M = Si, Nb, Mo)합금분말 소결체의 전력손실을 주파수 1 kHz, 인가자장 5 Oe에서 성형압력의 변화를 조사한 결과는 그림 6과 같다.

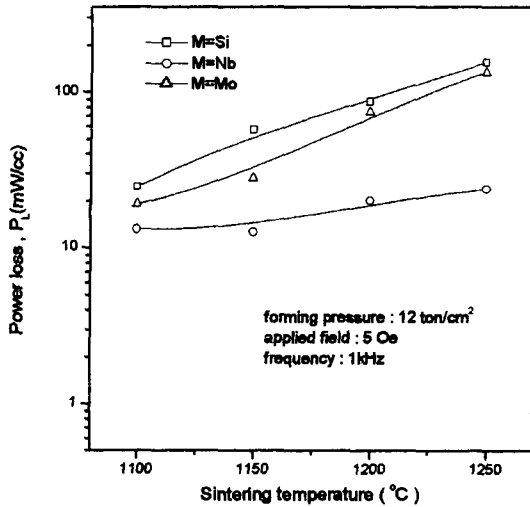


Fig. 7. Power loss of the sintered Fe-17Cr-2M(M=Si, Nb, Mo) alloys as a function of sintering temperature.

그림 6에서 전력손실은 성형압력에는 크게 영향을 미치지 않으나 첨가원소에 따라 큰 차이가 있음을 알 수 있다. Fe-17Cr-2Nb합금 분말 소결체의 전력손실은 40 mW/cc로 Fe-17Cr-2Si와 Fe-17Cr-2Mo의 85 mW/cc 및 75 mW/cc의 약 1/2임을 알 수 있다.

12 ton/cm²에서 성형한 17Cr-Fe-2M(M = Si, Nb, Mo) 합금분말 소결체의 전력손실을 인가자장 5 Oe, 주파수 1 kHz 에서 소결온도에 따른 변화를 조사한 결과는 그림 7 과 같다.

그림 7에서 17Cr-Fe-2M(M = Si, Nb, Mo)합금분말 소결체의 전력손실은 첨가원소에 관계없이 소결온도의 증가에 따라 증가한다. 이것은 전력손실이 재료의 전기 비저항에 반비례하므로 소결온도의 증가에 따른 분말입자 상호간의 확산에 의해 소결밀도의 증가로 기공의 감소를 유발하여 전기 비저항의 감소에 기인하는 것으로 고찰된다.

IV. 결 론

우수한 내식성을 갖는 Fe-17Cr합금에 Si, Nb, Mo를 첨가한 17Cr-Fe-2M(M = Si, Nb, Mo)합금분말을 제조하여 성형 및 소결한 후 첨가원소, 성형 및 소결 조건에 따른 교류자기 특성을 조사하여 다음과 같은 결론이 얻어진다.

1. Plasma Electrode Rotating Atomizer에 의해 제조된 17Cr-Fe-2M(M = Si, Nb, Mo)합금분말은 첨가원소에 관계없이 bcc구조의 α단상이 형성되며, Fe-17Cr-2Mo과 Fe-17Cr-2Nb합금분말의 포화자화는 약 155 emu/g로 Si를 첨가한 경우보다 크다.

2. Fe-17Cr-2M(M = Si, Nb, Mo)합금분말 소결체의 진폭비 투자율은 인가자장이 3~5 Oe사이에서 최대값을 나타낸다. 1,250 °C에서 소결한 Fe-17Cr-2Si합금분말 소결체의 진폭비 투자율은 인가자장 5 Oe에서 470으로 Fe-17Cr-2Nb과 Fe-17Cr-2Mo에 비하여 큰 값을 나타낸다.

3. 12 ton/cm²의 성형압력과 1200 °C에서 소결한 Fe-17Cr-2Nb합금분말 소결체의 전력손실은 40 mW/cc로 Fe-17Cr-2Si과 Fe-17Cr-2Mo합금분말 소결체의 경우의 약 1/2이다.

4. 자화, 초투자율 및 진폭비 투자율이 큰 Fe-17Cr-2Si 합금분말 소결체는 저주파수 영역에서의 활용이 기대되며, 전력손실이 적은 Fe-17Cr-2Nb합금분말 소결체는 고주파수 영역에서 활용이 기대된다.

참고문헌

[1] 本藏義信, 特殊鋼, 43(7), 32(1994).
 [2] 同部有道, 鑄鍛鋼, 4, 33(1970).
 [3] 特殊鋼, 軟質磁性材料特集, 35, 20(1986).
 [4] 윤성호, 김택기, 조용수, 한국자기학회지, 8(3), 129(1998).
 [5] 오환수, 김택기, 조용수, 한국자기학회지, 10(1), 11(2000).

Magnetic Properties in Alternating Magnetic Field for the Sintered Fe-17Cr-2M(M=Si, Nb, Mo) Alloys

J. G. Kim and T. K. Kim

Dept. of Metal. Engi., Chungnam National University, Taejon 305-764, Korea

Y. S. Cho

Dongbu Electronics Co., Ltd., Chungbuk, 369-850, Korea

(Received 20 October 2000, in final form 14 November 2000)

Fe-17Cr-2M(M=Si, Nb, Mo) alloy powder was prepared by plasma electrode rotating atomizer and then the alloy powder was formed and sintered. The particle shape of the Fe-17Cr-2M(M=Si, Nb, Mo) alloy powder is spherical. The saturation magnetization of the sintered Fe-17Cr-2Mo and Fe-17Cr-2Nb alloy are 155 emu/g. The saturation magnetization of the sintered Fe-17Cr-2Si alloy is less than that of the sintered Fe-17Cr-2Mo and Fe-17Cr-2Nb alloy. The amplitude relative permeability of the sintered Fe-17Cr-2M(M=Si, Nb, Mo) alloy has the maximum value in the range of 3~5 Oe applied field at forming pressure 12 ton/cm², sintering temperature 1200 °C, and frequency 1 kHz. Power loss of the sintered Fe-17Cr-2Nb alloy is 40 mW/cc at applied field, $H_a = 5$ Oe, and frequency, $f = 1$ kHz. The power loss of the sintered Fe-17Cr-2Nb alloy is a half of that of the sintered Fe-17Cr-2Si and Fe-17Cr-2Mo alloy.