

FeSi-(Cu, Ni) 결정질 합금 및 FeCrSiBC 비정질 합금 분말코어의 성형성 및 자기적 특성에 미치는 인산염처리 효과

(Effects of the phosphate coating for forming ability and magnetic properties of FeSi-(Cu, Ni) crystalline alloy and FeCrSiBC amorphous alloy powder cores)

장대호^{1,3,*}, 노태환¹, 이태경², 최광보², 김윤배³, 김광윤³
¹안동대학교 신소재공학부, ²(주)창성 중앙연구소, ³한국과학기술연구원

1. 서론

현재 사용되고 있는 결정질의 압분코어 재료로는 철, Ni-Fe계 퍼멀로이, Fe-Si-Al계 샌더스트 분말 등이 있으며, 이러한 재료를 이용한 연자성 분말코어는 자심손실이 적고, 넓은 주파수 범위에서 일정한 투자율을 가지며 직류바이어스 자장 인가 시에도 높은 자기적 안정성을 유지하는 것이 큰 장점이다. 또한 고주파 대역에 대응하기 위해 여러 비정질합금 분말 및 나노결정립 분말 코어에 관하여 최근 국내에서 연구가 진행되고 있다. 하지만 이 재료들은 성형성이 매우 낮아 기존 결정질 분말코어의 특성을 능가하지 못하는 수준에 머물고 있다.

비정질 또는 나노결정 합금 분말은 금속결정분말에 비해 탄성계수가 수배 높은데, 기존에 잘 알려진 Fe-6.5 wt%Si 합금분말 또한 다량의 Si로 인해 재료가 취약하여 소성가공이 어렵다. 따라서 금속 분말코어에 통상적으로 적용하고 있는 10-20 ton/cm² 정도의 성형압력하에서 분말 성형시에 소성변형을 일으키지 않고 이에 따라 제조된 코어가 쉽게 크랙이 발생하거나 표면결함이 빈번하게 발생하는 것이 큰 문제로 지적되고 있다.[1]

본 연구에서는 기존에 잘 알려진 인산염 피막처리를 통하여 상기의 합금분말들에 대해 절연코팅을 실시하였다. 인산염 피막처리는 현재 금속도장분야, 전기공업분야 등에서 도장하지용, 소성가공용 및 전기절연처리로 광범위하게 사용되고 있으며, 인산염 피막처리의 생성물인 인산염은 화학적으로 금속면을 처리하였을 때 표면에 피막을 형성하는 물질로서 중성환경에서 안정하고, 전기전도도가 없는 화합물이며, 내식성, 내고온 산화성을 향상시키며 동시에 경도, 내마모성을 증가시키는 효과를 수반하는 것으로 보고 되고 있다.[2, 3] 상기의 인산염 코팅의 장점들은 자성분말간의 전기적 절연성 및 성형성에 크게 도움을 줄 것으로 판단되어, 본 연구에서는 Fe계 결정질 및 비정질 합금분말에 인산염을 형성시켜 압축 성형한 후 그에 따른 자기적 특성을 조사하였다.

2. 실험 방법

본 연구에서 사용된 결정질 합금분말은 Fe_{88.74}Si_{11.26}(Fe-6.0wt%Si)을 기본으로 하여 이에 1 at% Cu와 1 at% Ni를 각각 단독으로 첨가하였고, 또한 Cu와 Ni를 동시에 첨가하여 용해한 Fe_{86.9}Si_{12.06}Cu₁와 Fe_{86.87}Si_{12.13}Ni₁ 3원계 합금 및 Fe_{85.85}Si_{12.15}Cu₁Ni₁ 4원계이며, 이 조성을 사용하여 가스 분무법으로 제조하였으며, 비교를 위하여 (Fe_{0.97}Cr_{0.03})₇₆(Si_{0.5}B_{0.5})₂₂C₂ 비정질 합금분말도 함께 준비하였다. 결정질 합금 분말은 모두 800℃ 질소분위기에서 1시간 동안 열처리 되었으며, 비정질 합금분말의 경우는 사전 열처리를 생략하였다. 이러한 분말에 인산염 형성을 위하여 적정농도의 인산이 혼합된 수용액을 사용하여 인산염 코팅을 실시하였다. 이렇게 코팅된 분말은 15ton/cm²의 압력으로 냉간성형하여 트로이달형 코어를 제조하였으며, 이후 코어는 냉간성형시 가해진 응력제거를 위해 결정질은 700℃에서 1시간, 비정질의 경우는 460℃에서 30분동안 질소분위기에서 각각 열처리 하였다.

분말 코어의 자기적 특성으로는 실효투자율과 품질계수, 자심손실 및 직류 바이어스 특성 등을 Impedance Analyzer (Agilent 4295A)와 B-H analyzer를 사용하여 측정하였으며, 주사전자현미경 (SEM)을 이용해 분말의 절연상태와 성형 후 코어 파단면을 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 1에 (a), (b)는 결정질 분말과 비정질 분말을 각각 인산염 처리한 후 SEM을 이용하여 이들의 결과를 관찰하였으며, 두 그림 모두에서 1 μ m 내외의 크기를 가진 흰색의 철인산염이 침상형으로 형성된 것을 볼 수 있다. 결정질과 비정질의 경우 모두 비슷한 양의 인산염이 형성된 것을 확인할 수 있지만 결정질의 경우에는 낮은 인산농도에서도 쉽게 인산염이 형성되었지만, 비정질의 경우는 낮은 인산농도에서는 아주 적은 양의 철인산염을 얻을 수 있었고, 결정질에 비해 수배의 높은 인산농도에서 결정질과 비슷한 양을 얻을 수 있음을 확인하였다.

인산염 처리는 최초 소지금속인 철이 용출되는 부식반응에 이어 철인산염을 형성하는 부반응으로 이루어지는데, 위와 같은 결과는 비정질이 결정질에 비해 인산염의 결정핵 생성위치가 될 수 있는 결정

립계가 없고, 비정질 자체의 우수한 내부식성으로 인한 것으로 판단되어진다. 상기와 같이 형성된 철 인산염은 소성가공이 어려운 Fe-Si계 결정질 합금 분말에 우수한 성형성을 부여하였으나, 비정질 합금분말의 경우 결정질과 비슷한 정도의 철인산염을 얻은 분말에 대해서도 성형이 잘 되지 않는 결과를 가져왔다. 이로써 비정질 합금분말의 코아성형에 대해서는 최소량의 바인더 첨가가 불가피한 것으로 고려되어 저용점의 젖음성이 좋은 Polyamide(최소 1 wt%)를 첨가한 후에야 성형을 할 수 있었다.

그림 2의 (a)는 다른 조성의 결정질 합금분말들을 사용한 분말코아의 실효투자율을 주파수별로 나타내었다. 네 가지의 합금분말코아들 중에 Ni를 단독으로 첨가한 분말코아의 경우 실효투자율이 80정도이며 약 100kHz까지 비교적 일정하게 유지되었고, Cu를 첨가한 경우는 실효투자율이 55 정도로 비교적 낮은 반면 그 크기가 수MHz까지 유지되었다. 반면에 Ni과 Cu를 함께 첨가한 분말코아의 경우 Cu만을 첨가한 경우보다 약 10정도의 실효투자율이 증가하였고, 주파수 의존성은 Ni만을 첨가한 경우와 비슷한 경향을 보여주었다. 그림 2의 (b)는 비정질 합금분말을 사용하여 제조한 코아의 바인더(Polyamide) 첨가량에 따른 실효투자율의 주파수 의존성을 나타내고 있다. 1 wt% Polyamide의 경우 20정도의 낮은 투자율을 얻었지만 약 30MHz까지 일정한 주파수 의존성을 보여주었고, Polyamide의 양이 증가할수록 투자율은 감소하였지만, 주파수 의존성에는 큰 변화를 보여주지 않았다.

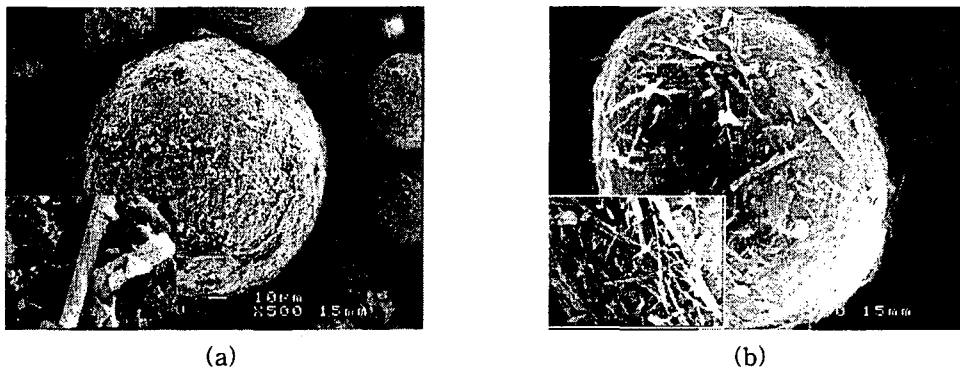


Fig 1. SEM micrographs of (a) crystalline alloy powder and (b) amorphous alloy powder after phosphate coating.

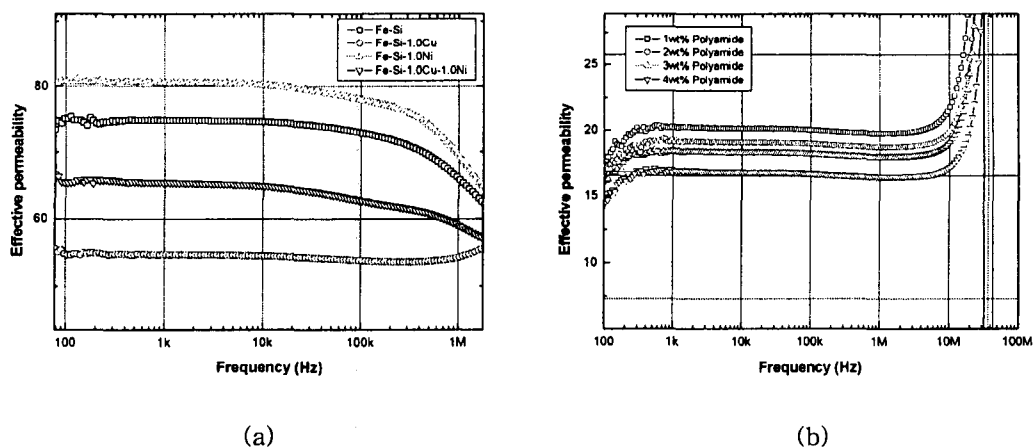


Fig 2. Frequency dependence of effective permeability for (a) crystalline alloy powder cores with different alloy composition and (b) amorphous alloy powder cores with different contents of binder. Phosphate coated powders are used for making cores.

4. 참고문헌

- [1] 김규진, 대한민국공개특허, 10-2002-0032653 (2003)
- [2] 이길웅, 한국고분자학회, 제4회 도료와 도장기술 세미나 (1984), pp.1-29
- [3] 박찬섭, 대한금속학회지, Vol. 8. No.4 (1995), pp. 412-418