

Fe-Ni 합금 극박재 제조를 위한 전주성형기술 및 극박재 특성

임태홍* · 이흥렬**

Electroforming and Properties of Fe-Ni alloy thin foil

T. H. Yim, H. Y. Lee

Abstract

Electroforming is a process that employs technology similar to that used for electroplating but which is used for manufacturing metallic articles, rather than as a means of producing surface coatings. Electroforming provides a cost-effective means of producing alloys and fully dense nanocrystalline metals as foils, sheets and complex shapes. It was able to make Fe-Ni foil with 5 μm thickness by electroforming. Electroformed Fe-Ni alloy was nanocrystalline and the yield strength was in the range 2000 ~ 2800 MPa. The magnetic permeability at high frequency of electroformed Fe-Ni foil was higher than that of thicker foils.

Key Words : Electroforming, Fe-Ni Alloy, Thin Foil

1. 서론

전주는 표면 코팅을 목적으로 하기 보다 금속 제품을 제조하기 위해 사용하는, 도금법과 유사한 기술¹⁾이다. 음극으로 사용하는 모형의 표면에 금속을 전착시킨 후, 전착 금속을 모형에서 박리하여 얻어진 것이 전주 제품이다. 전주에서의 조작은 전기도금과 같으나 음극인 모형(바탕)과 전착 금속과의 밀착력이 큰 문제가 되지 않는 점은 전기도금과 다르다. 전착금속이 너무 빨리 떨어지는 것을 막는 정도로 충분하다. 전주에서의 전착금속의 두께는 보통의 전기 도금층 두께보다 10 배 이상이다. 그러나 전주와 전기도금에 사용되는 욕의 형식은 같다.²⁾

한편 Fe-Ni합금은 연자성 재료로서 투자율이 높아 통상 permeability alloy의 약칭인 퍼멀로이(permalloy)로 불리운다³⁾. 퍼멀로이는 합금

중 Ni의 조성이 35~90wt% 범위에 속한다⁴⁾. 이 중 Fe-45 wt%Ni 합금은 Fe-Ni 합금 중 포화 자속밀도가 가장 높으므로⁵⁾ 저 Ni 계 퍼멀로이로서 구조강판보다 투자율이 크면서 포화자속밀도가 커야 하는 부분에 응용된다. Fe-78wt%Ni 합금은 고니켈계 퍼멀로이로서 투자율이 가장 높다.

본 연구에서는 Fe-Ni 합금 극박재를 제조하기 위한 전주성형 공정과 전주한 Fe-Ni 극박재 특성을 알아보려고 하였다.

2. Fe-Ni 합금 극박재 제조를 위한 전주성형기술 및 실험 방법

전주에 의한 Fe-Ni 합금 극박재를 제조하기 위해 전해액 속에 금속재의 양극과 표면이 연마된 금속재 음극드럼을 설치하고 양극 및 음극에

* 한국생산기술연구원

** 한국생산기술연구원

전위차를 부여함으로써 음극 표면에 Fe-Ni 합금을 전착시킨다. 그리고 원하는 두께가 된 전착물을 회전하는 음극드럼에서 분리하면 연속된 극박재를 얻을 수 있다.

그림 1은 드럼형 음극을 이용하여 Fe-Ni 합금 극박재를 연속 전주하는데 적당한 장치의 개념도이다.

그림 2는 고안하여 제작한 전주장치이다.

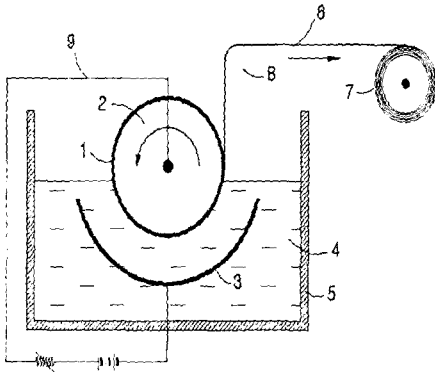


Fig. 1 Schematic diagram of electroforming⁶⁾

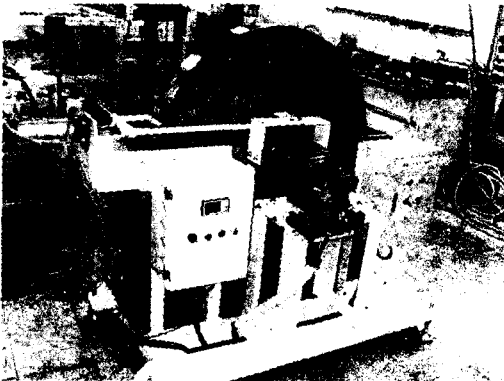


Fig. 2 Electroforming equipment for making Fe-Ni foils

Fe-Ni 합금 전착용액으로 황산염 용액, 염화물 용액, 인산염 용액, 설페이트 용액 등이 있다. 황산염 용액을 전주용액으로 선택하였다. 결정립의 크기는 XRD 회절 패턴의 퍼짐 현상을 이용하는 Scherrer eq.으로 계산하여 구하였다⁷⁾. 전주된 합금의 조성은 SEM-EDS로 분석하였으며 XRD와 TEM으로 결정립 크기 및 미세조직을 관찰하였다. 실효투과율(effective permeability; μ_{eff}) 측정은 8자 코일법으로 측정하였다.⁽⁸⁾

3. 결과 및 고찰

자체 설계 제작한 연속전주장치를 이용하여 다양한 형상의 Fe-Ni 합금 극박재를 제조할 수 있었다. 그림 3은 두께 10 μ m, 폭 290mm 인 Fe-80wt%Ni 합금 극박재이다. 음극으로 사용하는 드럼 표면의 전착 가능한 부분을 조절함으로써 다양한 폭의 극박재 제조가 가능했다. 음극드럼 폭이 300mm 인 보유 장비로 최대 폭 300mm 인 Fe-Ni 합금 극박재를 전주성형할 수 있다. 이 장치를 이용하여 음극드럼의 표면을 조절함으로써 폭이 120, 250, 290 mm 인 극박재를 제조할 수 있었다. 전주된 극박재의 두께는 음극에 전착된 전착물의 두께와 동일하므로 전류밀도, 전착시간 등을 조절하여 다양한 두께의 극박재 제조가 가능하다. 두께가 5, 10, 15, 20, 30 μ m 인 Fe-Ni 합금 극박재를 전주 성형할 수 있었다.

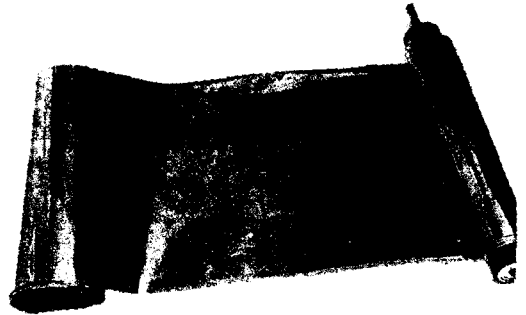


Fig. 3 Electroformed Fe-80wt%Ni foil (thickness 10 μ m, width 290mm)

철강의 경우 극박 강판은 두께가 0.15 mm 이하인 강판을 의미한다⁹⁾. 극박강판의 제조법에는 압연법, 전주법, 피박법 등이 있다.⁹⁾ 압연법의 경우 통상의 연속식 냉간압연기에서 얻은 coil을 sendzmir 압연기등 특수 압연기에서 2차 압연해 주어야 한다. 이러한 압연법에 의해 압연이 가능한 최소 두께는 기술적으로 25 μ m 정도가 한계로 알려져 있다. 피박법은 원주상의 재료를 원주축 중심으로 회전시키면서 공구에 의해 재료 표면의 피박을 연속적으로 하여 strip을 권취하는 것으로 설비가 간단하나 좁은 폭의 포일 제조에 사용되는 한계가 있다. 이에 반해 전주

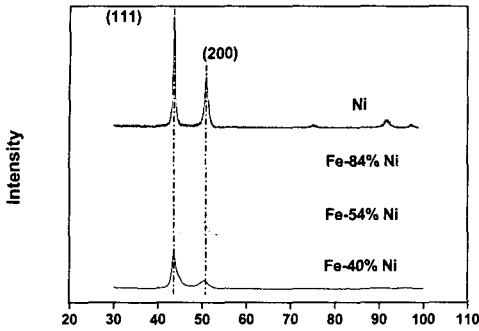


Fig. 4 X-ray diffraction patterns of electroformed Fe-Ni foils and Ni foil

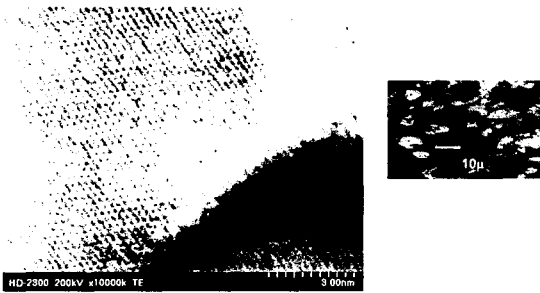


Fig. 5 Transmission electron micrographs of electroformed nanocrystalline Ni and Fe-80wt%Ni alloy

법은 넓은 폭으로 이론상 초극박재의 제조도 가능하다. 압연법 및 피박법은 제조할 수 있는 극박재의 두께와 폭에 한계가 있으나 전주성형 기술은 이러한 기술적 한계를 극복할 수 있다.

그림 4는 전주한 Ni 및 Fe-Ni 합금의 XRD 회절 패턴이다. 용액의 조성 및 전주 공정을 조절하여 Ni 조성범위를 35~100 wt%로 할 수 있었다. 회절 피크의 퍼짐 현상을 관측하여 결정립 크기를 계산하였다. 결정립의 크기는 10nm 정도였으며 Ni 조성이 줄어들수록 피크의 퍼짐 현상이 커져 결정립 크기가 작아지는 경향이 있었다. 그림 5는 전주된 Ni 및 Fe-Ni 합금의 투과전자 현미경 사진이다. 전주한 Fe-78wt%Ni 합금의 항복강도는 2000~2800 MPa, 인장강도는 2500~3300 MPa, 경도는 800Hv 이었다. 이는 전위 집적이 일어나지 않는 이론강도인 3798 MPa⁹⁾ 및 Ni 휘스커의 3825 MPa¹⁰⁾, G/16로 계산한 Ni의 이론강도 4738 MPa에 상당히 근접한 값이다. 반면 용해주조법으로 제조한 Fe-78wt%Ni 합금의 항복강도는 103~207 MPa, 인장강도는 517~621 MPa

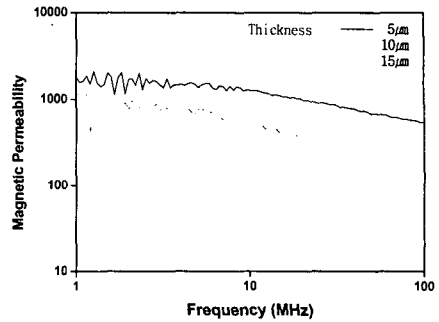


Fig. 6 Variations of The Ni wt% of electroformed Fe-Ni foils with the concentration of iron chloride in nickel sulfate-based solution.

이다.¹¹⁾ 이와 같이 전주한 Fe-Ni 합금의 강도가 용해주조법으로 제조한 합금보다 강도가 높은 것은 조직의 나노결정립화에 기인한 것이다.

그림 6은 전주성형공정 중 전주를 위한 황산염 용액 중 염화 철의 농도와 용액온도가 전주된 Fe-Ni 합금의 조성에 미치는 영향을 보여준다. 전주된 Fe-Ni 합금의 합금조성은 용액중의 염화철의 농도에 의해 직접적인 영향을 받는다. 염화철농도가 20~25 g/l 범위에서 Ni의 조성이 44~66wt%인 Fe-Ni 합금을 제조할 수 있었다. 전착온도 또한 합금조성에 큰 영향을 미치는데 35~75 °C 범위에서 합금의 Ni 조성을 최대 17wt% 폭으로 조절할 수 있었다. 전주 성형한 Fe-Ni 합금의 조성은 용액중의 철 농도와 용액온도를 변화시켜 조절할 수 있음을 알 수 있다.

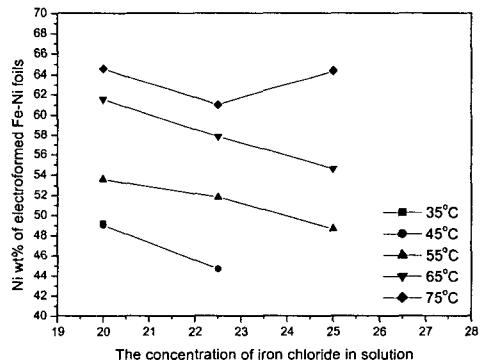


Fig. 7 Variations of the magnetic permeability of electroformed Fe-40wt%Ni foils with frequency

후 기

그림 7 은 전주한 Fe-40wt%Ni 합금 극박재의 주파수에 따른 자기투자율의 변화를 보여 준다. 여기서 극박재의 두께가 얇아지면 투자율이 높아지는 것을 볼 수 있다. 일반적으로 연자성 재료는 투자율과 포화자속밀도가 높을수록 보자력과 자심 손실이 적을수록 우수하다. 그러므로 Fe-Ni 합금을 MHz 단위의 고주파에서 연자성 재료로 사용하기 위해서는 합금이 얇을수록 유리하다. 결론적으로 전주성형기술은 고기능성 Fe-Ni 합금 극박재 제조를 위한 유용한 기술이 될 수 있다.

4. 결 론

Fe-Ni 합금 극박재 제조를 위한 전주 성형 공정 및 극박재 특성 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 자체설계 제작한 전주성형장치로 Fe-Ni 합금을 두께가 5~30 μ m 인 다양한 극박재로 전주할 수 있었다. 전주성형기술은 Fe-Ni 합금을 광폭극박형상으로 제조할 수 있는 유용한 기술이다.

(2) 전주성형용 용액 중의 철농도와 용액의 온도는 전주된 Fe-Ni 합금의 조성에 직접적인 영향을 미친다.

(3) 전주성형기술로 Fe-Ni 합금 중 상업적으로 유용한 Fe-78wt%Ni, Fe-50wt%Ni, Fe-45wt%Ni, Fe-36wt%Ni 합금 등을 제조할 수 있었다.

(4) 전주된 Fe-Ni 합금은 나노결정립 합금이며 전주된 Fe-Ni 합금의 높은 항복강도와 인장강도는 이에 기인한다.

(5) 전주성형기술은 고주파 연자성 특성이 우수한 극박 형상의 Fe-Ni 합금 제조를 위한 유용한 기술이다

이 논문은 21C 프론티어연구개발사업 중 하나인 차세대 소재성형기술개발사업의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사 드립니다..

참 고 문 헌

- (1) 신정철 등, 극박강판 제조기술연구, 산업과학기술연구소 보고서 (1989) 4-7.
- (2) T. Hart and A. Watson, Electroforming ()388
- (3) B. D. Cullity, Introduction to Magnetic Materials, Addison - Wesley Publishing Company, Massachusetts, (1972) 525.
- (4) E. P. Wohlfarth, Ferromagnetic Mterials, vol. 2, North-Holland Publishing com, Amsterdam, (1980) 123.
- (5) R. M. Bozorth, Ferromagnetism, D. Van Nostrand Com, Inc, Princeton, New Jersey (1963) 109.
- (6) T.H. Yim, H. Y. Lee, et.al, USA Patent 6428672
- (7) B. D. Cullity, Elements of X-ray Diffraction, Addison-Wesley Publishing Company, Massachusetts, (1978)102.
- (8) 허영두, 이홍렬, 황태진, 임태홍, 한국표면공학회지 vol. 35, No 6 (2003) 455-460.
- (9) N. Wang et al., Acta metal. Mater. Vol.43, No.2(1995)515~528.
- (10) 青柳全, 先端材料活用 マニュアル, 新技術開發センター, 東京 (1984) 537.
- (11) R. M. Bozorth, Ferromagnetism, D. Van Nostrand Com, Inc, Princeton, (1951)108.