한국표면공학회지
J. Kor. Inst. Surf. Eng.
Vol. 38, No. 6, 2005.
<연구논문>

연속전주공정을 이용한 전자파 차폐용 정밀니켈메쉬 제조 신공정

이주열[a*], 김 만[a], 권식철[a], Nguyen Viet Hue[a], 김인곤[b]
[a]한국기계연구원 표면기술연구센터, [b]동의대학교 재료금속공학과

Novel Process of Precision Nickel Mesh Fabrication for EMI Shielding Using Continuous Electroforming Technique

Joo-Yul Lee[a*], Man Kim[a], Sik-Chol Kwon[a], Nguyen Viet Hue[a], In-gon Kim[b]
[a]Surface Technology Research Center, Korea Institute of Machinery & Materials
66 Sangnam-dong, Changwon, Kyungnam 641-010, Korea
[b]Department of Materials and metallurgical Engineering, Dong-eui University, Kaya-dong, San-24, Busanjin-Ku, Busan 614-714, Korea

(Received 4 December 2005 ; accepted 16 December 2005)

Abstract

Novel continuous electroforming process equipped with a rotating patterned mandrel, soluble/insoluble anode and multiple stage of rolling wheels was proposed to produce precision nickel mesh, which is known as a very efficient electromagnetic interference (EMI) shielding material. Continuously electroformed nickel deposits showed a tendency to form small-sized particles as the plating solution temperature increased and mandrel rotation speeded up and the applied current density decreased. Along the honeycomb patterns of mandrel, nickel was accurately electrodeposited on the surface of rotating mandrel, but quite different visual/structural characteristics were measured on both sides.

Keywords : Precision nickel mesh, Continuous electroforming, Rotating mandrel

1. 서 론

전자파에 의한 인체 유해성과 주변 장비의 오작동 사례가 보고됨에 따라 각종 전자/통신 기기에 대한 전자파 차폐재의 적용 필요성이 증대하고 있다. 전자파 차폐 재료로써 Ni, Cu, Fe, Cr 및 합금체, Mg 합금, stainless steel, Ag 등과 같은 금속재와[1-7], 탄소 섬유, 유연성 흑연, 전도성 고분자 등의 비금속 물질이 사용되고 있다[8,9]. 특히, Ni은 우수한 자기적 물성과 전기적 물성을 가지고 있어 효과적인 전자파 차폐 재료로 평가받고 있다. 전자파 차폐재는 적용 특성상 원활한 열분산 및 광투과성이 요구되는 경우가 많으므로 sheet 형태보다는 주로 mesh 형태로 제조되거나 가공하여 사용된다.

현재 사용되고 있는 전자파 차폐용 정밀 Ni mesh는 batch type에 의해 제조되고 있다. 그러나, 본 방식은 설비가 복잡하고 작업 공정이 까다로와 제조비용이 높은 단점을 안고 있다. 이를 극복하기 위해서는 Ni mesh를 연속적으로 제조할 수 있는 기술 개발이 요구되는데, 전주 기술은 그러한 대안 중의 하나이다. 전주는 전기 도금 과정을 통하여 후막 형태의 독립체(free form object)를 생산하는 방법으로써 전기 도금과 동일한 기술적 원리가 적용되지만 전착층의 두께, 기질 금속과 전착층간의 밀착력 및 전착층의 내부 응력 제어 측면에서 전기도금과는 확연한 차이를 갖는 기술이다[12,13]. 전주기술을 이용하여 Ni mesh를 연속적 제조하기 위해서는 i) 연속적으로 Ni을 전착시킬 수 있는 음극 구조 설계 및 주변 장치 제어, ii) 적절한 전기적/기계적 물성을 갖는 Ni 전착층의 형성, iii) Ni 전착층

*Corresponding author. E-mail : leeact@kmail.kimm.re.kr

의 박리 등과 같은 공정 개발이 이루어져야 한다.

본 연구에서는 각종 전자/통신 기기의 전자파 차폐용 금속 mesh를 경제적으로 제조하기 위하여 전주 기술과 연속 공정 개념을 도입한 장치를 제작하였고, 또한 연속 전주 공정을 통해 제조된 Ni mesh 전착층의 물성 측정이 이루어졌다.

2. 실험 방법

그림 1은 니켈 메쉬를 연속적으로 제조하기 위한 장치 구성과 공정 개략도를 도시한 것이다. Ni 전주 도금조는 2단으로 구성되어 있으며 내측 도금조를 채우고 나온 도금액은 외측 도금조로 흘러 들어가 하단에 집수된다. 도금액은 양극판의 개방 부분을 통해 도금조 하단으로부터 음극 드럼 면으로 상향 분사되고, 도금액 분사량은 제어 밸브에 의해 조절된다. 도금 중에 발생하는 침전물이나 이물질을 제거하기 위해 여과 장치를 장착하였으며, 도금액의 온도와 전류 밀도 및 음극 드럼의 회전 속도는 자동 조절 장치에 의해 제어되도록 장치를 설계하였다.

양극으로는 티타늄 바스켓 내에 가용성 Ni coupon이 채워진 가용성/비가용성 양극 시스템이 사용되어 전주 과정 중에 Ni coupon이 용해되더라도 양극과 음극간 거리는 일정하게 유지되도록 하였고, 음극으로는 일반 탄소강 재질의 회전 드럼(직경: 200 mm, 폭: 250 mm)이 사용되었다. 연속 전주를 위한 음극 드럼의 회전 속도는 주파수 제어 방식을 채택하여 시간당 회전 회수가 조절되도록 설계하였다.

회전 음극 드럼 상에 육각형의 mesh 패턴 형성은 감광막 도포, 노광, 현상, 에칭 등의 일련의 공정을 사용하여 이루어졌으며, 음극 드럼의 통전부는 금속층으로 전착하였고, 비통전부는 고분자 물질로 충진하였다. 음극 드럼의 통전부에는 먼저 150 μm 두께의 Cu층이 전착되었고, 그 위에 10 μm 두께의 Cr층을 전착함으로써 금속층간의 긴밀성과 Ni 전주층의 박리 용이성을 도모하였다. 한편, 비통전부는 내화학성 수지로 충진 후 건조되어 2차원적 음극 패턴을 형성하였다. 전착된 Ni 전주층은 일정한 기계적 장력에 의해 박리된 후 수세 공정을 거쳐 권취된다. Ni 전주 용액은 300 g/*l* nickel sulfamate, 3 g/*l* nickel chloride, 30 g/*l* boric acid로 구성되었으며, 전착시 용액의 온도는 50°C, 산도는 pH 4.5로 유지되었다.

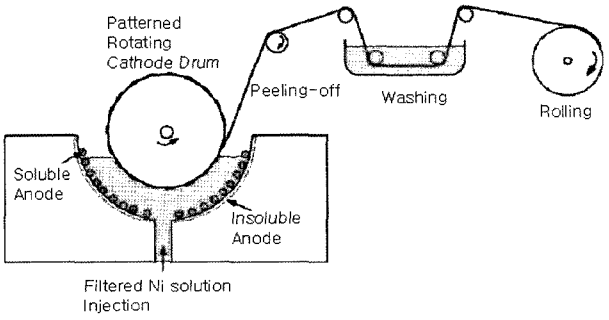

Fig. 1. Schematic diagram of the continuous Ni mesh electroforming process.

회전 음극 드럼 패턴과 전주된 Ni mesh의 패턴 및 규격은 광학 현미경을 사용하여 측정하였고, 표면 형상은 주사 전자 현미경(SEM, JSM-5800, JEOL)으로써 관찰하였다.

3. 결 과

그림 2는 Ni 전주 조건 - 음극 드럼 회전 속도, 전류 밀도, 도금 용액 온도 등- 에 따른 Ni 전착층의 표면 형상 변화를 관찰한 SEM 사진이다. (a)/(b)와 (c)/(d)를 비교해보면 음극 드럼의 회전 속도가 증가함에 따라 전착된 니켈 입자 크기가 미세해지는 것을 알 수 있다. 그리고, (a)와 (b)로부터 인가된 전류 밀도가 커질 때 입자의 크기가 전반적으로 커지는 것을 볼 수 있는데, 이는 고전류 인가 조건에서는 니켈 전착 과정이 점진적 핵형성(progressive nucleation) 방식보다는 급진적 핵형성(instantaneous nucleation) 방식에 따라 진행되고 있음을 시사한다. (c)와 (d)에서, 도금 용액의 온도가 전착에 미치는

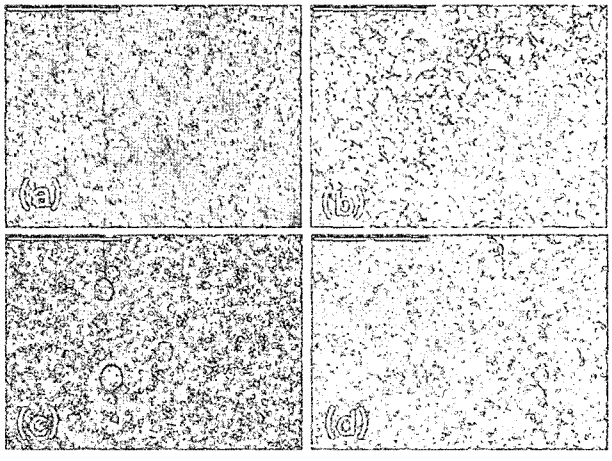

Fig. 2. SEM images of Ni films obtained at various electroforming conditions (×1,000): (a) Rotation speed = 50 min/turn, temp. = 40°C, applied current density = 4 A/dm^2, (b) Rotation speed = 50 min/turn, temp. = 40°C, applied current density = 8 A/dm^2, (c) Rotation speed = 40 min/turn, temp. = 40°C, applied current density = 4 A/dm^2, (d) Rotation speed = 40 min/turn, temp. = 50°C, applied current density = 4 A/dm^2.

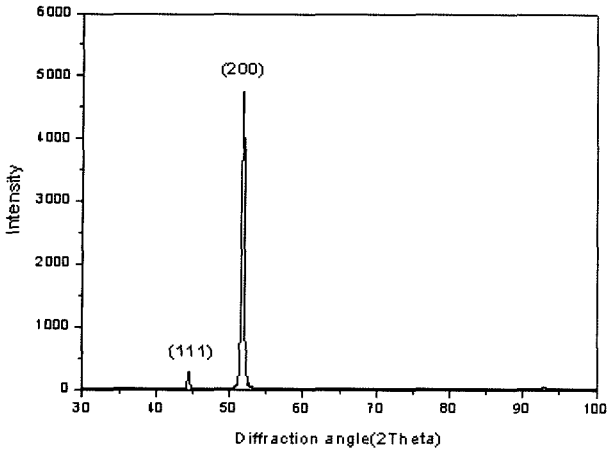

Fig. 3. XRD pattern of Ni film electroformed in the condition of Fig. 2(d).

효과를 살펴보면 용액의 온도를 40°C에서 50°C로 높였을 때 전착층의 균일도가 향상되었다. 전착물의 입자 크기와 균일도는 전착층의 경도 및 조도와 직접적으로 연관되므로, 본 실험 영역에서는 전주 용액의 온도가 높을수록, 그리고 음극 드럼의 회전 속도와 인가 전류 밀도를 낮게 유지될 때 전주층의 표면 특성을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.

금속의 결정 방위는 금속 박판의 기계적인 물성 뿐만 아니라 전기적, 자기적 물성에도 영향을 주므로 결정 방위 측정은 전자파 차폐 특성을 가늠하는데 있어서 중요한 의미를 가진다. 그림 3은 그림 2(d)의 조건에서 얻은 니켈 전주층의 결정 방위 측정 결과이다. 실험 범위 내에서의 음극 드럼의 회전 속도, 인가 전류 밀도 및 도금 용액 온도 등의 변화에 따라 회절 피크는 크게 변하지 않았다. 본 Ni 전착층의 경우 (200)면에서 강한 회절 피크가 나타났고, (111)면에서는 약한 회절 피크가 검출되었다. 니켈 금속의 경우 (111) 면이 자화 용이 배향이므로, (111) 면을 많이 갖는 전착층에서 전자파 차폐 특성이 우수할 것으로 예상된다. 금속 전착층의 결정 방위는 전착 용액의 조성에 따라 영향을 받으므로 향후 전자파 차폐 성능의 향상을 위해서는 첨가제의 도입 등과 같은 추가적인 변수 제어를 통한 (111) 면의 증대가 요구된다.

그림 4에서는 회전 음극 드럼 패턴과 연속 전주에 의해 제조된 Ni mesh의 광학 사진과 Ni mesh 양면의 표면 상태에 대한 SEM 사진을 나타내었다. 연속 전주된 Ni mesh의 육각형 형상은 회전 음극 드럼의 패턴을 잘 반영하고 있음을 볼 수 있다. 회전 음극 드럼 패턴(a)은 벌집 구조의 육각형 형상을 하고 있으며, 대변간의 거리는 397±2 μm, 대꼭지점간 거리는 417±2 μm, 그리고, 크롬 도금부의

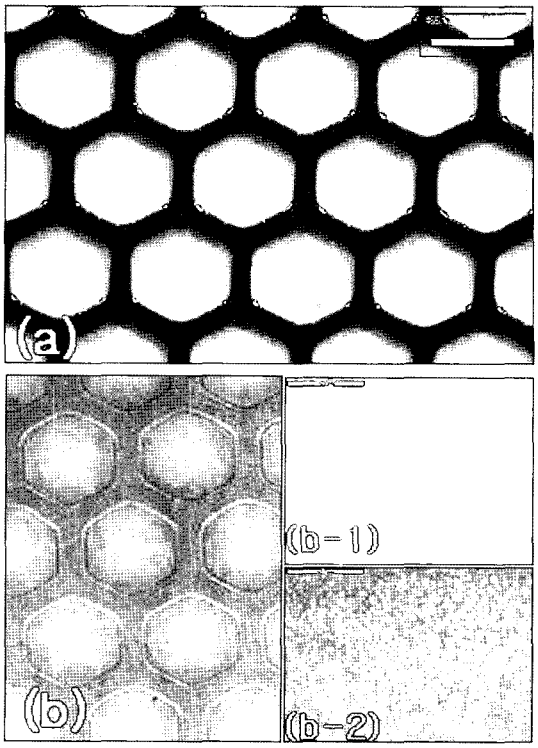

Fig. 4. Surface images of the fabrication of (a) the rotating cathode drum and (b) the continuously electroformed Ni mesh (×100). Electroforming condition: Rotation speed = 25 min/turn, temp. = 50°C, applied current density = 10 A/dm^2. (Inset) SEM images of (b-1) the Ni mesh surface contacting with rotating cathode drum and (b-2) the opposite side (×2,000).

선폭은 82±2 μm이었다. 한편, 연속 전주 공정에 의해 제조된 Ni mesh(b)의 육각형 구조에서 대변간 거리는 391±7 μm, 대꼭지점간 거리는 401±7 μm, 그리고, 크롬 도금부의 선폭은 90±3 μm로 측정되었다. 회전 음극 드럼 패턴과 Ni mesh간에는 대략적으로 10 μm의 특성값 차이를 보였고, Ni mesh의 육각형 패턴 간 편차가 다소 크게 발생했다. 특히, 대꼭지점 간 거리는 상당한 감소를 나타나는데 이는 선폭의 증가 뿐만 아니라 전착 과정에서의 전류 밀도 집중에 기인한 것으로 판단된다. 그림 4(b-1)과 (b-2)는 연속 전주된 Ni mesh의 양면, 즉 음극 접촉면과 이면의 전착 상태를 SEM으로 관찰한 것으로써, 음극 접촉면에서는 무정형(amorphous) Ni이 전체적으로 형성된 반면, 이면에서는 결정상 Ni 전착이 국부적으로 발생한 것을 볼 수 있다. 이로 인해Ni mesh의 양면 간에는 현저한 반사도 차이가 발생하여 음극 접촉부에 전착된 Ni층의 광택도는 음극 이면에 전착된 Ni 층보다 높게 된다. 이와 같은 전착 특성은 용액 중의 Ni 이온이 전착될 때 Cr 금속층 위에 전착되는 것과 Ni 전착층 위에 전착

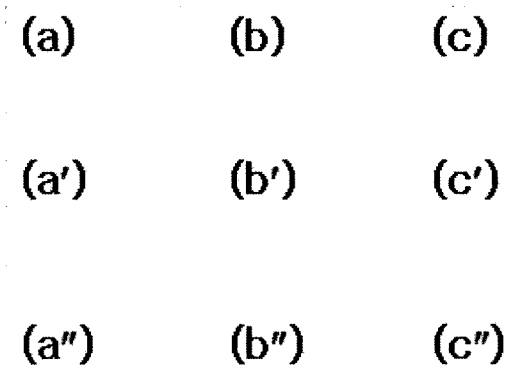

Fig. 5. Thickness measurement points of the continuously electroformed Ni mesh. Electroforming condition: Rotation speed = 25 min/turn, temp. = 50°C, applied current density = 10 A/dm^2.

Table 1 Thickness variation of the continuously electroformed Ni meshes

(unit: μm)

Measurement points / Mesh No.	(a~a")	(b~b")	(c~c")
1	58.4 ± 3.1	57.6 ± 3.2	56.6 ± 4.1
2	46.8 ± 3.0	45.2 ± 4.7	42.2 ± 5.8
3	48.4 ± 3.9	47.0 ± 4.2	42.0 ± 4.4

*Measurements were repeated five times at each point for 3 mesh strips.

되는 것 간의 근원적인 표면 에너지 – 즉, potential of zero charge – 의 차이에 기인하는 것으로 추정된다.

그림 5와 표 1은 각각 연속 전주된 Ni mesh(폭: 200 mm, 길이: 600 mm)의 두께 측정 위치와 국부 영역에 대한 두께 측정치를 정리한 것이다. 각 측정치는 연속 전주 공정에서 얻은 3종의 Ni mesh박판의 두께 평균치와 오차이며, 동일 전주 방향을 따라 측정되었다. 동일 시편 내에서의 Ni mesh 두께 편차는 10% 내외로 크지 않았으며, 영역별 두께 분포를 살펴보면 대략적으로 (a~a") > (b~b") > (c~c") 의 순서로 감소하는 경향을 보였다. 이는 회전 음극 드럼 상의 (a) 영역이 타 영역보다 다소 높은 전류 효율을 가짐을 의미하는 것으로써, 장치의 기하학적 구조나 전극간 거리의 차이에 의해 발생하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

전주 기술과 연속 공정 개념을 도입하여 Ni mesh를 연속적으로 제조할 수 있는 장치와 공정이 개발되었다.

(1) 회전 음극 드럼 상에 Ni전착층을 형성시킬 때 전주 용액의 온도가 높을수록, 음극 드럼의 회전 속도가 느릴수록, 음극에 인가되는 전류 밀도를 낮을수록 Ni 전주 입자의 크기를 미세화할 수 있었다.

(2) 연속 전주에 의해 형성된 Ni 전착층에는 (200)면과 (111)면이 혼재되어 있으나 (200) 면이 우세하게 형성되었다.

(3) 연속 전주 공정에 의해 제조된 Ni mesh의 패턴은 회전 음극 드럼의 물리적 패턴을 잘 반영하나 전방위로 다소 넓어지는 것으로 측정되었다. 그리고, Ni mesh의 양면은 서로 다른 전착 구조와 표면 특성을 나타내었다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 21세기 프론티어 연구개발 사업의 일환인 차세대소재성형기술 개발 사업단의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. L. Li, DDL Chung, Polym. Compos., 14 (1993) 467.
2. X. Shui, DDL Chung, J. Electron Mater., 26 (1997) 928.
3. DDL Chung, Carbon, 39 (2001) 279.
4. T. Kagotani, R. Kobayashi, S. Sugimoto, K. Inomata, K. Okayama, J. Akedo, J. Magnetism & Magnetic Mater., 290 (2005) 1442.
5. L. Li, DDL Chung, Composites, 25 (1994) 215.
6. W. M. Kim, D. Y. Ku, I. K. Lee, Y. W. Seo, B. K. Cheong, T. S. Lee, I. H. Kim, K. S. Lee, Thin Solid Films, 473 (2005) 315.
7. Y. K. Hong, C. Y. Lee, C. K. Jeong, J. H. Sim, K. Kim, J. Joo, M. S. Kim, J. Y. Lee, S. H. Jeong, S. W. Byun, Curr. Appl. Phys., 1 (2001) 439.
8. J. Wu, DDL Chung, Carbon, 40 (202) 445.
9. C.-Y. Huang, W.-W. Mo, M.-L. Roan, Surf. Coat. Tech., 184 (2004) 163.
10. I. Kim, K. Kang, J. Lee, S. C. Kwon, M. Kim, J. Y. Lee, J. Kor, Inst. Surf. Eng., 38, (2005) 14.
11. J.-Y. Lee, J.-W. Kim, B.-Y. Chang, H. T. Kim, S.-M. Park, J. Electrochem. Soc., 151 (2004) C333.
12. A. E. W. Rennie, C. E. Bocking, G. R. Bennett, J. Mater. Process. Tech., 110 (2001) 186.
13. H. Yang, S.-W. Kang, International J. Machine Tools & Manufacture, 40 (2000) 1065.