

고세장비 마이크로 음각 형상을 갖는 대면적 스탬프의 제작

이병수¹, 한정원¹, 한정진¹, 임지석¹, 유영은², 제태진², 강신일^{1,#}

Fabrication of Large Area Stamp with High Aspect Ratio Micro Intaglio Features

Byung Soo Lee¹, Jeongwon Han¹, Jungjin Han¹, Ji Seok Lim¹,
Yeong-Eun Yoo², Tae-Jin Je², and Shinill Kang^{1,#}

Abstract

This paper describes a novel method for fabricating large area metallic stamp with high aspect ratio micro intaglio features. Micro machined brass master with pillar and larger width groove patterns were electroformed to form inverse structures on the large area metallic stamp. This enabled large area metallic stamp with fine micro high aspect ratio micro intaglio features which were small width groove patterns and quadrilateral hole patterns that cannot be fabricated by direct micro machining process. Fabricated large area metallic stamp with high aspect ratio micro intaglio features was measured and analyzed.

Keywords: Intaglio feature, Metal stamp, High aspect ratio

1. 서론

대면적의 고세장비 마이크로 패턴을 응용한 제품들의 수요가 증가함에 따라 마이크로 복제 제작 공정인 사출 성형 공정, 임프린팅 공정 등에 요구되는 몰드 또는 스탬프의 제작에 관한 중요성이 증대되고 있다[1], [2]. 본 연구에서는 Fig. 1과 같은 기계가공으로 제작이 불가능한 고세장비 hole pattern과 기계가공으로 제작이 어려운 micro groove pattern을 지닌 대면적 금속 스탬프를 전주 공정을 통하여 제작하였다. 일반적인 기계 가공의 경우, 미세 음각 hole pattern의 제작은 불가능하거나 가공 시간이 오래 걸리고, 미세 마이크로 groove 형상의 경우, 고가의 제작이 어려운 초정밀 공구를 사용하여 대면적 가공에 적용할 경우, tool tip에서 발생하는 마찰과 열에 의해 tool tip에 변형 및 파손이 일어나면서 가공된 pattern의 정밀도가 떨어지고 tool tip의 재 제작에 많은 시간과 금액이 소요되며, tool tip 교체 후 가공 재 시작 점을 정확하게 찾는 것

이 어려워, 대면적 정밀 가공에 큰 어려움이 있다. 이러한 한계점을 극복하고, 저가의 대면적 정밀 스탬프를 다량으로 제작하기 위하여 본 연구에서는, 공구 제작 및 기계 가공 공정이 용이한 절삭부의 크기가 큰 역상의 마스터를 제작하고 이를 이용하여 전주 도금을 통한 복제 금속 스탬프를 제작하는 공정을 제안하고, 이를 통해 정밀 대면적 스탬프를 제작하고 평가하였다.

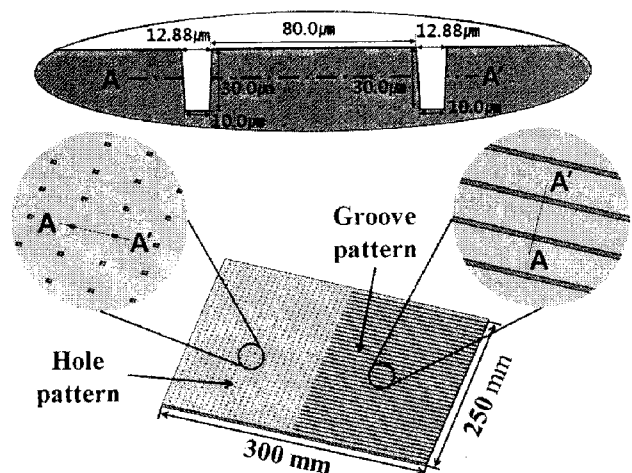


Fig. 1 Pattern layout of the large area target stamp

1. 연세대학교 기계공학 대학원
2. 한국기계연구원 (KIMM)
교신저자: 연세대학교 기계공학부,
E-mail: snlkang@yonsei.ac.kr

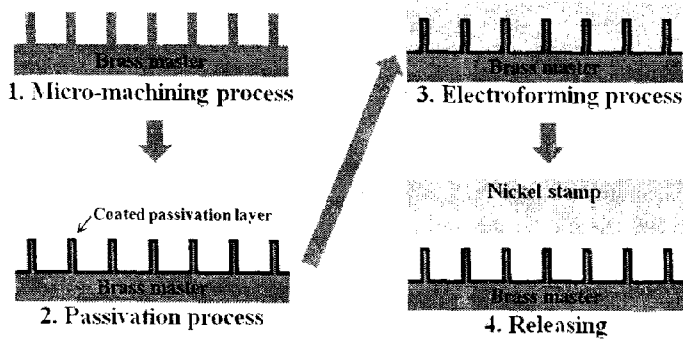


Fig. 2 Schematic drawing of process flow

2. 대면적 미세 기계 가공 공정

현재 공구 끝단 폭이 5 ~ 20 μm 인 공구 팁 제작이 가능하다. 저형상비 용 공구로 대면적 금속 패턴 마스터 제작이 가능하지만 고세장비 패턴을 기계 가공하고자 고형상비 공구를 사용하게 되면 micro groove pattern 가공시 tool tip이 손상되므로 이로 인한 tool tip의 교체 후 재 가공은 tool과 제작되던 pattern의 정렬 문제로 인하여 매우 어렵다. 또한 micro quadrilateral hole pattern의 미세 기계 가공을 통한 제작은 불가능하다. 이러한 문제를 해결하고자 본 연구에서는 Fig. 1에서와 같은 대면적 금속 스탬프 상에 micro groove pattern 및 micro quadrilateral hole pattern을 제작하기 위하여 이와 반대되는 패턴 형상을 지닌 대면적 황동 패턴 마스터를 미세 기계 가공을 통하여 제작하였다. 대면적 황동 패턴 마스터의 미세 기계 가공 조건은 가로 250mm, 세로 300mm, 높이 15mm 인 황동 기관상에 Fig. 3에서 보여지는 공구 끝단 폭이 80 μm 인 Single Crystal Diamond (SCD) tip 으로 Fig. 4에서 보는 바와 같이 다양한 형태의 마이크로 패턴을 가공하였다. 이때, 각각의 패턴들의 가공된 바닥 폭 80.0 μm (tool tip폭과 동일), pitch는 각각 90 μm , 100 μm , 110 μm 제작되었고, 전주 공정으로 제작된 대면적 금속 스탬프는 황동 패턴의 역상으로 제작되었다. 최종 대면적 금속 스탬프에서 원하는 micro hole pattern 부분은 직교 방향으로의 shaping 가공을 통하여 micro pillar pattern으로 가공 되었고, micro groove pattern의 경우 역상의 micro groove pattern을 한 방향의 shaping 가공을 통하여 제작하였다.

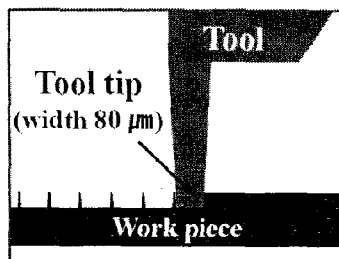
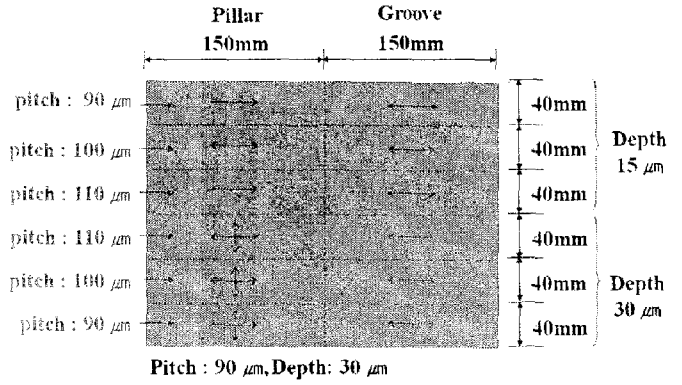


Fig. 3 Schematic drawing of fabricating metallic master by micro machining



Pitch (μm)	90		100		110	
Depth (μm)	15	30	15	30	15	30
Open (μm)	81.44	82.88	81.44	82.88	81.44	82.88
Land (μm)	8.56	7.12	18.56	17.12	28.56	27.12
Aspect Ratio	1.75	4.21	0.81	1.75	0.53	1.12

Fig. 4 Target specification for micro machined master

대면적 황동 패턴 마스터의 기계 가공 속도는 1,200mm/min이었고 절삭에 의한 가공 깊이는 15 μm 와 30 μm 두 종류였다. 균일한 가공면 및 원활한 가공을 위해서 단계적인 절입 가공을 통해 패턴을 가공하였으며, 패턴의 깊이가 15 μm 일 경우는 5단계의 절입 가공을 통하여 제작하였고 패턴의 높이는 30 μm 일 경우는 6단계의 절입 가공 통하여 각각 제작되었다. 가공된 micro pattern의 aspect ratio는 0.53부터 4.12까지로 매우 다양했다. 실제 가공된 대면적 황동 패턴 마스터는 Fig. 5 (a)와 같았다.

3. 부동태화층 제작 공정

전주 공정으로 대면적 금속 스탬프를 제작할 시 황동패턴 마스터를 직접 전주 공정을 통하여 대면적 금속 스탬프를 제작하게 되면 황동 패턴마스터와 대면적 금속 스탬프가 서로 붙어 이형이 되지 않는다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 황동 패턴 마스터와 금속 스탬프 상에 이형층이 필요하다. 본 연구에서는 Passivation 공정을 통하여 대면적 황동 패턴 마스터를 이용하여 전주 공정을 진행한 후 제조된 대면적 금속 스탬프의 이형을 보다 용이하게 하고 황동 패턴 마스터 상 마이크로 패턴의 손상을 방지하기 위하여 Potassium dichromate ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)를 이용한 화학적 부동태화층 형성 방법을 이용하였다[3]. 부동태화층의 생성은 Potassium dichromate 용액에 황동 패턴 마스터를 1분간 담궜다가 황동 패턴 마스터를 꺼낸 후 DI water 로 Potassium dichromate 용액을 씻어내는 방법으로 이루어졌다.



Fig. 5 Photograph of (a) micro-machined master, (b) micro-electroformed nickel stamp

4. 대면적 전주 복제 공정 기술

전주 공정은 전도성 패턴 마스터 상에 전기/화학적 원리를 이용하여 특정 금속을 증착하여 금속 스탬프를 복제 제작하는 공정이다[4]. 일반적으로 복제하고자 하는 패턴 마스터를 음극으로 증착하고자 하는 금속 물질을 양극으로 하여 통전 시 증착하고자 하는 물질이 전해액 내에서 이온화되어 패턴 마스터 상으로 이동하여 증착되는 원리를 활용한다. 이때 증착되는 복제 금속 스탬프의 두께는 인가하는 전류의 양과 전류를 흘려준 시간에 비례하게 된다 [5]. 본 연구에서는 경도, 마이크로 패턴 복제 공정시의 내구성 등을 고려하여 대면적 금속 스탬프 물질로 니켈을 사용하였고, 이를 위한 도금액으로 Nickel Sulfamate Solution ($\text{Ni}(\text{NH}_2\text{SO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)을 사용하였다. 전주 복제 공정을 통한 대면적 금속 스탬프 제작에 있어서, 금속 스탬프 내부 응력, 표면 결함, 두께 균일도 등의 제어가 매우 중요하다[6]. 이의 해결을 위하여 전주 공정 시 240 liter의 전해액을 53°C로 유지 하고 산성도는 3.8 ± 0.05 로 정밀하게 유지하였으며, 전류 인가는 전주 공정 시작 후 첫 30분 동안은 ramping time이라 하여 전류밀도를 서서히 133 mA/cm^2 까지 증가시키는 전류밀도 제어를 실행하고 이후는 전류밀도를 133 mA/cm^2 로 유지하였다. 이러한 전류밀도의 제어를 통해 대면적 금속 스탬프 내부의 응력을 최대한 방지하여 금속 스탬프의 뒤틀림 현상을 방지하였다. 최적의 전주 공정조건을 도출하여 두께 $200\mu\text{m}$ 의 대면적 고세장비 마이크로 패턴 금속 스탬프 제작 시간은 총 4시간 15분이 소요되었다. 제작된 대면적 황동 패턴 마스터는 Fig. 5(b)에서 확인할 수 있다.

5. 측정 평가 및 결과

Fig. 5(b)와 같이 부동태화층을 형성한 황동 패턴 마스터를 이용한 전주 공정으로 복제 제작된 대면

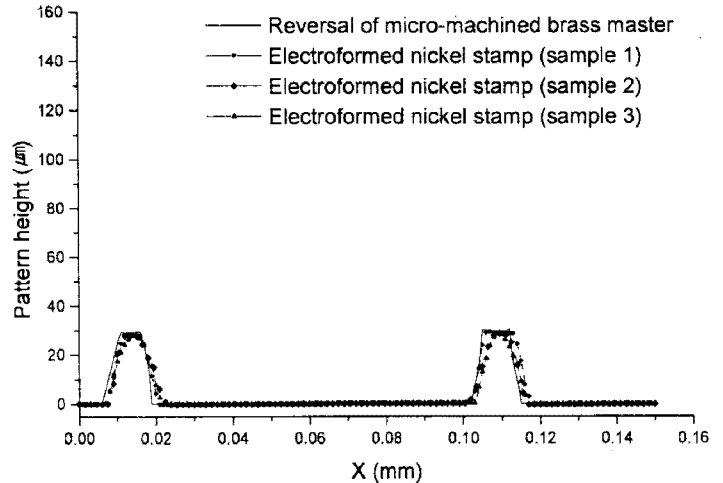


Fig. 6 Profile comparison between the brass master pattern and the replicated nickel stamp

적 금속스탬프는 황동 패턴 마스터 상에서 성공적으로 분리 되었다. 전주 공정을 통한 대면적 금속 스탬프의 제작 가능성을 판단하기 위하여 기계 가공으로 제작된 황동 패턴 마스터 및 전주 공정으로 제작된 대면적 금속 스탬프 상 미세 패턴과 기계 가공으로 제작된 황동 마스터 상 패턴은 Struers사의 Repliset F5를 이용하여 복제된 Silicon 샘플을 Scanning Electron Microscope (SEM)로 형성된 패턴의 단면 형상 촬영과 White Light Interferometer를 이용한 높이를 측정 및 결과를 분석하였다. Struers사의 Repliset F5로 복제된 Silicon 샘플을 SEM으로 촬영한 이유는 대면적 황동 패턴 마스터와 제작된 대면적 금속 스탬프를 손상시키지 않고 측정 가능한 SEM이 없기 때문이다. 기계 가공으로 제작된 황동 패턴은 다양한 pillar의 상부 또는 하부의 크기로 Fig. 4에서와 같이 상부 치수를 기준으로 다양한 높이의 패턴이 있고 그 중 가장 세장비가 큰 것은 pitch $90 \mu\text{m}$, height $30 \mu\text{m}$ 이며 Fig. 6에서 보는 바와 같이 white light interferometer 측정을 통해 전주 공정으로 제작된 대면적 스탬프상 hole 미세 패턴은 황동 마스터상 pillar 패턴을 잘 옮겨 복제 제작 되었음을 확인 할 수 있다. 또한 Fig. 7은 제작된 대면적 금속 스탬프 상 미세 패턴 형상 및 기계 가공으로 제작된 황동 패턴 마스터 상 미세 패턴 형상의 단면 형상 비교 결과로써 이를 통해 황동 패턴 마스터상 미세 패턴의 역상을 지닌 대면적 금속 스탬프의 제작이 가능함을 확인 할 수 있다. 또한 제작된 대면적 금속 스탬프의 경도는 40.9 HRC (standard Rockwell-C hardness tester, ATK-F1000, Mitutoyo Corporation 이용)로 마이크로 패턴 복제 공정에 응용 가능하다.

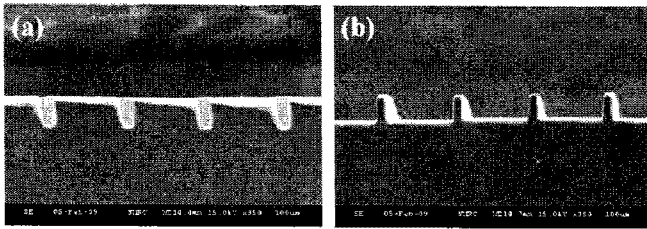


Fig.7 SEM images of replicated (a) groove pattern on master, (b) groove pattern on nickel stamp

이를 통하여 기계 가공으로 제작한 황동 패턴 마스터를 이용한 전주 공정을 통해 대면적 금속 스탬프를 제작하는 것이 유용함을 확인할 수 있다.

6. 결 론

본 연구에서는 기존 기계 가공으로는 제작이 어렵거나 불가능한 마이크로 고세장비 micro quadrilateral hole pattern 및 micro groove pattern을 지닌 대면적 금속 스탬프의 제작 방법을 제시하고자 하였다. 고세장비 micro quadrilateral hole pattern 및 micro groove pattern을 지닌 대면적 금속 스탬프는 전주 공정을 통해 복제 제작되었다. 전주 공정에 사용될 마스터는 다이아몬드 미세공구를 이용한 기계 절삭 가공을 통하여 제작된 황동 마스터가 사용되었다. 전주 공정 후 성공적인 이형을 위하여 전주 공정 진행전 황동 패턴 마스터 상에 passivation process를 통하여 부동태화층을 형성하였다. 전주 공정시 최적화된 공정 진행을 통하여 고세장비 micro pattern을 지닌 대면적 금속 스탬프를 제작하였다. 전주 공정으로 제작된 대면적 금속 스탬프는 기계 가공으로 제작된 황동 패턴 마스터와의 비교 측정 및 분석을 통하여 성공적으로 제작되었음을 확인하였다. 이는 제시한 전주 공정을 통한 복제 제작 방법이 기존 기계 가공으로는 제작이 어려운 고세장비 micro hole pattern 및 micro groove pattern을 지닌 대면적 금속 스탬프의 제작 방법으로 이용 가능함을 보였다.

후 기

본 연구는 지식경제부 전략기술개발 사업 대면적 미세형상 가공시스템 개발 사업의 연구비 지원을 통해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] S.Kim, D.Kim and S.Kang, "Replication of micro-optical components by ultraviolet-molding process", Journal of Microlith. Microfab. Microsyst., Vol.2, No. 4, pp.356-359, 2003.
- [2] H. Kim, S. Kim, J. Lim, and S.Kang, "Design and fabrication of wafer scale microlens array for image sensor using UV-imprinting", The Korean Society of Technology of Plasticity, Fall Session, pp.100 ~ 103, 2007.
- [3] J. Gregori, J.J. Garcia-Jareno, F. Vicente, "Determination of time dependence of passive layer on nickel from instantaneous mass/charge function $F(dm/dQ)$ in competitive passivation/dissolution conditions", Electrochemistry Communications, 2006.
- [4] N.N. Issaev, A.G. Schrodtt, C. Khan Malek, "Consumption related development in microelectroforming", Microsystem Technologies, 7 44 – 46, 2001.
- [5] K.C. Chan, W.K. Chan, N.S. Qu, "Effect of current waveform on the deposit quality of electroformed nickels", Journal of Materials Processing Technology 89-90 447-450, 1999.
- [6] Hsiharng Yang a, Shung-Wen Kang, "Improvement of thickness uniformity in nickel electroforming for the LIGA process", International Journal of Machine Tools & Manufacture 40 1065-1072, 2000.