

미세 기계가공 시스템으로 제작된 고세장비 마이크로 패턴의 전주 복제 공정 개발

Development of electroforming process using micro-machined brass master with high aspect ratio micro pattern

*한정진¹, 한정원¹, 심종명¹, 제태진², 유영은², #강신일³

*J. Han¹, J. Han¹, J. Shim¹, T.J. Je², Y.E. Yoo², #S. Kang (snlkang@yonsei.ac.kr)³

¹연세대학교 대학원 기계공학과, ²한국기계연구원 ³연세대학교 기계공학부

Key words : High aspect ratio micro patterns, pulse reverse current electroforming process, large area metallic stamp, UV imprinting

1. 서론

고세장비 마이크로 패턴을 지닌 대면적 제품들의 수요가 증가하고 있다. 이러한 제품의 대량생산에는 마이크로 복제 제작 공정인 사출 성형 공정, 임프린팅 공정 등이 응용되고 있으며 이러한 마이크로 복제 제작 공정에 필수적으로 요구되는 몰드 또는 스탬프 제작기술의 중요성이 증대되고 있다.[1-2] 본 연구에서는 Fig. 1 과 같은 기계가공으로 직접제작이 어려운 폭 10 μm의 groove pattern 이 대면적으로 존재하는 금속 스탬프를 전주 복제공정을 통하여 제작하였다. 일반적인 기계 가공의 경우, micro groove pattern의 제작을 위하여 고가의 초정밀 tool tip 을 사용한다. 이를 대면적 미세 패턴 가공에 적용할 경우, 가공시 tool tip 과 가공 기관 간에 발생하는 마찰에 의해 tool tip 에 변형이 일어나 가공된 미세 패턴의 가공 정밀도가 떨어지게 된다. 또한 가공중 tool tip 이 파손될 경우 tool tip 교체 후 가공 재시작점에서 정확히 가공을 시작하는 것이 어려워, 대면적 미세 패턴의 정밀 가공에 큰 어려움이 존재한다.

본 연구에서는 이러한 기계 가공시 존재하는 어려움을 극복하고, 저가에 고세장비 미세 패턴을 지닌 대면적 금속 스탬프를 다량으로 제작하기 위한 공정을 개발하였다. 이를 위하여 공구 제작 및 기계 가공이 용이한 절삭부의 크기가 큰 역상의 마스터를 제작 후 이를 이용한 임프린팅 공정 및 전주 복제 공정 진행을 통하여 대면적 금속 스탬프를 제작하였다. 최종적으로 복제 제작된 고세장비 미세 패턴을 지닌 대면적 금속 스탬프 측정을 통하여 제안한 공정의 유용성을 평가하였다. Fig. 2 는 본 연구에서 제안하는 대면적 고세장비 금속 스탬프의 제작공정을 도식적으로 표현한 것이다.

2. 대면적 금속 스탬프 복제 공정기술

2.1 대면적 기계가공 공정

고세장비 micro groove pattern 을 지닌 대면적 금속 스탬프를 복제 제작하기 위하여 이와 반대되는 패턴 형상을 지닌 대면적 황동 마스터를 기계가공을 통하여 제작하였다. [3] Fig. 4(a)는 제작된 황동 마스터로 가로 400mm, 세로 400mm, 두께 20mm 기관 상에 Pitch 70 μm, 80 μm, 90 μm, 깊이 15 μm, 30 μm 인 micro groove pattern 이며, Fig. 3 에서 보는 바와 같은 폭 60 μm 인 single crystal diamond tip 을 이용하여 마이크로 패턴을 제작하였다.

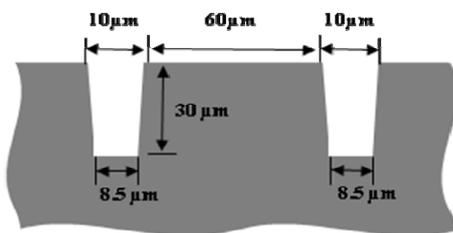


Fig. 1 Cross-sectional drawing of final target pattern structure of large area metallic stamp with intaglio pattern features.

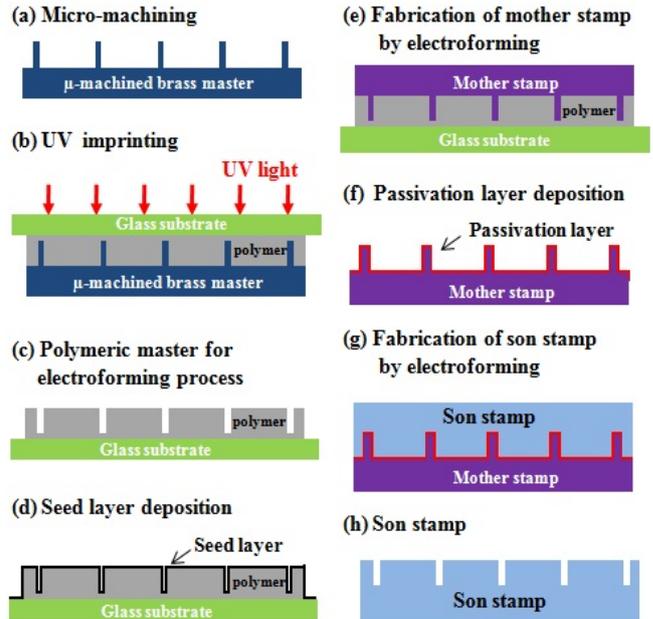


Fig. 2 Schematic diagram of fabrication process of large area metallic stamp using UV imprinting and electroforming

2.2 대면적 임프린팅 복제 공정

전주 복제 공정 기술을 이용하여 황동 마스터로부터 금속 스탬프를 직접 복제 제작할 경우 기계가공 중 발생된 황동 마스터 상의 미세 Burr 로 인해 전주 복제공정 후 금속 스탬프와 황동 마스터 간의 이형이 원활하게 이루어지지 않는다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 포토폴리머 재료를 이용한 대면적 UV 임프린팅 공정을 이용하여 패턴을 복제 제작하였다.[4] UV 임프린팅 공정은 상온에서 액상의 형태를 지닌 포토폴리머를 황동 마스터 상에 도포하고 자외선 조사를 통해 경화시켜 패턴을 복제하는 기술이다. 본 연구에서는 복제된 대면적 패턴의 편평도 유지를 위하여 유리 기관을 후면에 이용하였다. Fig. 4(b)는 제작된 대면적 폴리머 마스터이다.

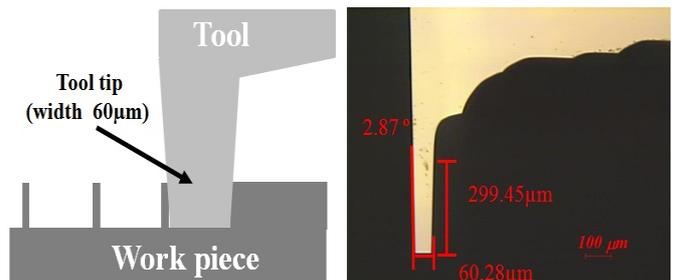


Fig. 3 Schematic drawing of fabrication of brass master by micro-machining process, microscopic image of side view of tool tip

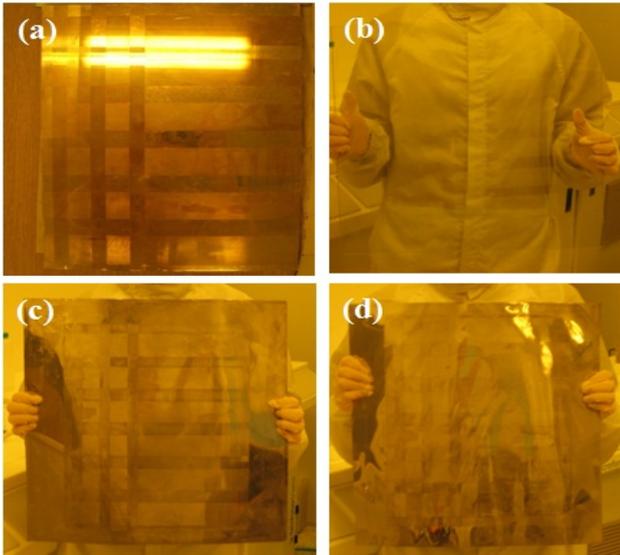


Fig. 4 Photography of (a) micro-machined brass master, (b) UV imprinted polymeric master, (c) electroformed nickel mother stamp, (d) electroformed nickel son stamp

2.3 대면적 전주 복제 공정

UV 임프린팅 공정을 통하여 제작된 대면적 폴리머 마스터의 전주 복제 공정을 위해서는 폴리머 마스터 상에 전도층 (Seed layer)이 필요하며, E-beam evaporation 공정을 통하여 폴리머 마스터 상에 니켈을 증착하여 전도층으로 이용하였다. 전주 복제 공정은 전기화학적 방법으로 증착하고자 하는 특정 금속을 양극으로 복제하고자 하는 패턴 마스터를 음극으로 하여 통전 시 전주액내에 이온화되어 있는 금속이 패턴 마스터 표면에 증착되는 원리를 활용한다.[5] 본 연구에서는 경도 및 추후 마이크로 복제 제작 공정시의 스탬프 내구성 등을 고려하여 니켈을 스탬프 제작에 사용하였고, 이를 위한 전주액으로 nickel sulfamate solution ($Ni(NH_2SO_3)_2 \cdot 4H_2O$)을 이용하였다. 전주 복제 공정을 통한 대면적 금속 스탬프 제작에 있어 최종 복제품의 정밀도는 금속 스탬프의 내부 응력, 표면 결함, 두께 균일도 등에 영향을 받으며 이에 따라 그 제어가 매우 중요하다. 이를 위하여 본 연구에서는 pulse reverse current 를 이용한 전주 복제 공정을 이용하였다. 본 공정으로 황동 마스터 상의 고세장비 마이크로 패턴과 동일한 패턴을 지닌 500 μm 두께의 대면적 금속 스탬프를 제작하였고 제작된 대면적 금속 스탬프(mother stamp)는 Fig. 4(C)에서 확인할 수 있다.

디자인한 최종형상의 금속 스탬프(son stamp)를 제작하기 위해서는 mother stamp 를 이용하여 전주 복제 공정을 수행해야한다. 이때 mother stamp 상에 증착되는 금속은 son stamp 의 물질과 동일하며, 두 스탬프상에 이형을 원할하게 하기 위해서 부동태화층 형성이 필요하다.

Mother stamp 상에 부동태화층은 potassium dichromate ($K_2Cr_2O_7$) 수용액을 이용하여 형성되었다. 부동태화층이 형성된 mother stamp 를 이용한 전주 복제 공정을 통하여 Fig. 4(d)와 같이 500 μm 두께의 고세장비 마이크로 패턴을 지닌 최종형상의 금속 스탬프(son stamp)를 제작하였다.

3. 측정 평가 및 결과

본 연구에서 제안한 고세장비 micro groove pattern 을 지닌 대면적 금속 스탬프 제작 공정의 유용성을 판단하기 위하여 제작 공정별 마스터 또는 스탬프 상의 미세 패턴을 Struers 사의 Repliset F5 를 이용 복제하여 scanning electron microscope (SEM)로 단면 형상을 측정하고 분석하였다.

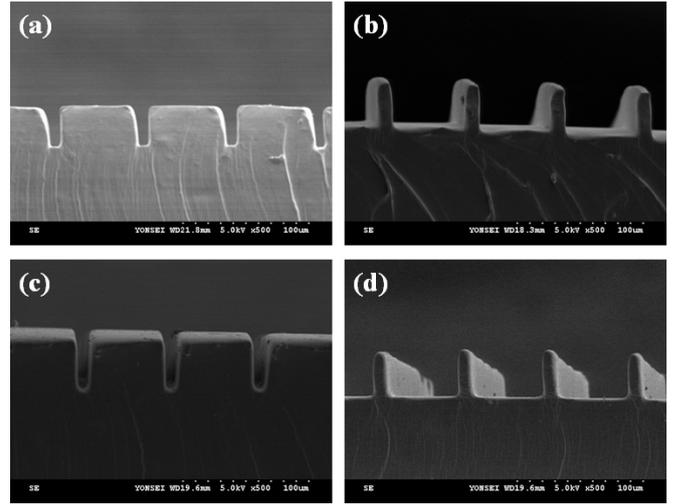


Fig. 5 SEM images of replicated (a) micro-machined brass master, (b) UV imprinted polymeric master, (c) electroformed nickel mother stamp, (d) electroformed nickel son stamp

제작된 대면적 마스터 및 스탬프 상의 미세 패턴들은 다양한 크기로 구성되어 있다. 그 중 세장비가 가장 큰 것은 pitch 70 μm , height 30 μm 인 패턴이며, Fig. 5 에서 보는 바와 같이 각 공정별로 원하는 형상이 잘 제작되었음을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 기존 기계 가공으로는 제작이 어렵거나 불가능한 고 세장비 micro groove pattern 을 지닌 대면적 금속 스탬프의 제작 방법으로 UV 임프린팅 및 전주 복제 공정을 이용하는 공정을 제안하고, 이의 유용성을 확인하기 위하여 제안한 공정을 통해 고세장비 미세 패턴을 지닌 대면적 금속 스탬프를 제작하고 측정을 진행하였다. 본 연구의 수행을 통해 얻어진 결과를 바탕으로 보다 높은 세장비의 미세 패턴을 지닌 대면적 금속 스탬프 복제 제작 기술의 개발이 진행 중이다.

후기

본 연구는 지식경제부의 전략 기술개발 사업으로 진행 중인 대면적 미세형상 가공시스템 기술 개발 과제(과제 번호 10030821)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. Lee, N., Han, J., Lim, J., Choi, Y., Han, J., Hong, J., and Kang, S., "Injection Molding of Nanopillars for Perpendicular Patterned Magnetic Media with Metallic Nanostamp," Japanese Journal of Applied Physics, **47**(3), 1803-1805, 2008.
2. Kim, S., Kim, H., Kang, S., "Development of an ultraviolet imprinting process for integrating a microlens array onto image sensor," Optics letters, **31**(18), 2710-2712, 2006.
3. 제태진, 김재구, 박경택, 이강원, "평삭에 의한 고종횡비 미세 채널 패턴 가공 연구," 한국정밀공학추계학술대회 논문집, 737-734, 2008.
4. Lim, J., Choi, M., Kim, H, Choi, S., Kang, S., "Design and fabrication of large-area optical functional rigid transparent substrate using UV-nanoimprinting process," 15th Microoptics Conference, 2009
5. Lowenheim, F. A., "Modern Electroplating 3rd Edition," John Wiley & Sons, Inc., Canada, 1974.