

파우더 블라스팅을 이용한 핫 엠보싱용 스탬프 제작 Fabrication of Stamp for Hot embossing Using Powder Blasting

*윤대진¹, 장호수¹, 김선아¹, #박동삼¹

*D. J. Yun¹, H. S. Jang¹, S. A. Kim¹, #D. S. Park(dspark@incheon.ac.kr)¹

¹ 인천대학교 기계공학과

Key words : Powder Blasting, Hot embossing, Stamp, STAVAX

1. 서론

나노 임프린팅 기술은 낮은 가격으로 대면적에 마이크로 또는 나노구조를 손쉽게 형성할 수 있는 기술로 평가 받고 있다. 나노 임프린팅 기술은 크게 핫엠보싱 리소그래피(hot embossing lithography), 몰드 보조 리소그래피(mold assisted lithography), 미세 접촉 리소그래피(micro contact lithography)로서 분류할 수 있다. [1] 핫엠보싱 리소그래피는 1995년에 Chou 등[2]에 소개되었으며 고온 고압의 환경에서 마스터를 폴리머 박막 위에 눌러서 패턴을 전사시키는 방법이다. 몰드 보조 리소그래피는 1996년 Haisman 등[3]에 의해 제안되었으며, UV 경화성 폴리머를 사용하며 비교적 저온 저압에서 마스터의 패턴을 폴리머에 전사시킬 수 있는 방법이다. 미세 접촉 리소그래피는 1993년 Kumar 와 Whitesides[4]에 의해 소개되었으며, 폴리머 스탬프를 사용하여 금속이 증착된 모재 위에 SAM(Self Assembled Monolayer)을 형성하여 패턴을 전사시키는 방법이다. 이 중에서 핫 엠보싱 기술은 폴리머 기판을 직접 다룰 수 있고, 상대적으로 고대비 구조를 대면적에 형성하는 것이 가능하여 대량생산을 통한 저가격화를 실현시킬 수 있는 가능성이 있다.

현재 핫 엠보싱용 스탬프 재료로는 Ni과 같은 금속계열, 실리콘 계열, PDMS나 SU-8 등과 같은 폴리머 계열이 있다. 본 논문에서는 스탬프 재료를 중 높은 내구성을 가지고 있어 고온고압에서도 장시간 사용할 수 있는 금속 계열을 채택하였으며, 증착된 니켈을 사용하는, 기존 고가의 스탬프를 대신하여 사출 금형에 사용되는 플라스틱용 금형강 중에 하나인 STAVAX를 사용하였다.

STAVAX는 크롬 합금 스테인리스 금형강으로 내부식성, 내마모성이 높고, 열변형이 작은 특성을 가지고 있어 스탬프에 직접적인 열이 가해지는 핫 엠보싱 기술에 적합하다 할 수 있다.

본 논문에서는 핫엠보싱용 금속 스탬프의 제작에 있어 기계적 에칭법 중의 하나인 파우더 블라스팅(powder blasting)을 도입하여, 미세 패턴을 기존의 화학적 에칭법에 비해 정밀하고 신속하게 가공 할 수 있는 방법을 제시하고자 한다. 또한 파우더 블라스팅을 이용한 STAVAX의 가공성을 평가하고, 분사조건에 따른 특성을 규명하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 시편설계 및 제작

본 논문에서 사용된 시편의 소재는 STAVAX 라는 크롬 합금 스테인리스강으로 판재의 STAVAX를 40mm x 40mm x 10mm의 크기로 절단한 다음 각각의 면을 연삭하여 제작하였다.(Fig.1)

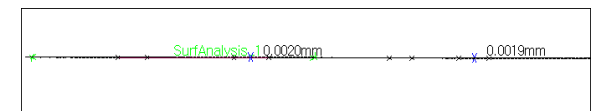
핫엠보싱 공정시 기판에 성형되는 미세한 패턴은 핫엠보싱 공정 자체의 실험조건에서 큰 영향을 받는다. 하지만 기본적으로 스탬프 전사면의 정밀도가 바탕이 되어야 한다. 이에 본 논문에서는 스탬프 전사면의 정밀도에 큰 영향을 주는 시편의 평활도와 치수정밀도를 측정/분석하여 제작된 시편의 신뢰성을 높이고자 하였다. 평활도 및 치수정밀도는 접촉식 표면 형상 측정기(Fom Tracer)를 이용하여 시편의 대각선 및 직선 방향으로 측정하여 분석하였다. Fig. 2는 시편의 평활도를 측정하는 것으로 대각선 및 직선 방향 모두 약 2µm 정도 단차를 보이고 있다. 하지만 수백 µm 패턴 사이즈(size)와 수십 µm 가공깊이를 고려할 때 충분히 무시 할 수 있을 정도의 오차를 가지고 있어 제작된 시편이 충분히 사용가능함을 확인할 수 있었다. 본 논문에서 사용된 STAVAX 시편의 성분비는 Table 1과 같다.

Table 1 Property of STAVAX S136

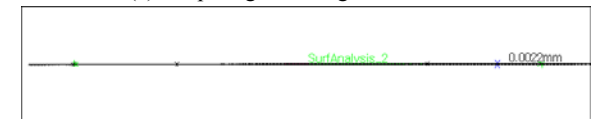
%	C	Si	Cr	Ni	Mn	Mo	V	W
STAVAX S136	0.38	0.8	13.6	-	0.4	-	0.3	-



Fig. 1 Photograph of experimental sample



(a) Step height of diagonal direction

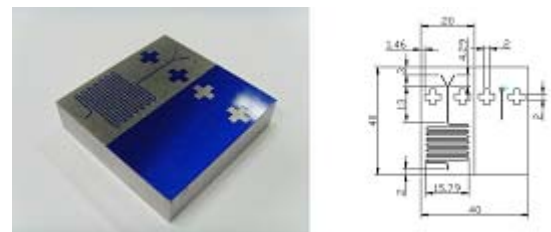


(b) Step height of straight direction

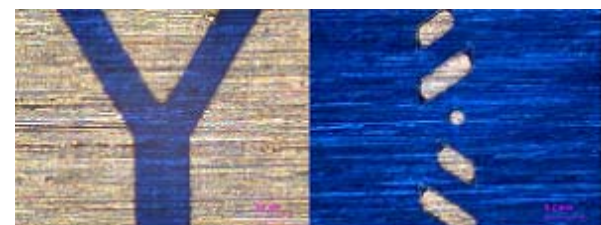
Fig. 2 Surface profile measurement

2.2 패턴설계 및 제작

파우더 블라스팅 가공을 위해서는 시편 위에 패턴된 마스크를 입혔다. 마스크(mask)는 Fig. 3 (a)에서 보는 것과 같이 시편 가운데를 기준으로 좌측에는 폭 200µm & 300µm의 Y와 Serpentine의 형상이 양각으로 우측에는 빗살무늬와 비슷한 형상이 음각으로 패턴 되어 있다. 마스크(mask) 패턴(pattern)의 형상정밀도는 현미경이 장착된 비전 시스템(vision system) 이용하여 측정하였다. Fig. 3 (b)는 비전 시스템을 이용해 촬영한 패턴을 나타낸다. 좌측의 큰 패턴의 경우 최대 5µm 이내의 오차를 보였으나 우측의 미세한 패턴의 경우 최대 10µm 정도의 오차를 보였다.



(a) Dimensions of pattern film and specimen



(b) MVS Photograph of masking pattern

Fig. 3 Photograph of masking pattern

2.3 실험장치 및 조건

본 실험에서 사용된 장비는 일본의 Sintoblator에서 제작된 블라스트 가공기(Micro Blaster : MB-1)이며, 일반적인 샌드 블라스터와는 달리 정량공급 장치가 장착되어 있어 일정량의 분사재를 공급할 수 있는 정밀가공이 가능한 장비이다.

또한, 시편의 치수 정밀도와 표면 거칠기를 측정하기 위해 접촉식 표면 측정기(FormTracer), 비접촉 3차원 광학식 측정기(WYKO NT-1000)을 사용하였으며, 형상 측정을 위해 비전시스템(MVS-300)을 사용하였다. 형상분석을 위한 프로그램은 FORMPAK과 WYKO Vision 32, MVS-1000을 사용하였다.

본 실험에서 분사가공의 변수들은 Table 2와 같다. 사용된 미립 분사재는 알루미늄의 일종인 WA#2000이다. 실제적인 가공에 앞서 가공성을 알아보기 위해 분사 조건에 따른 가공성을 선행 평가하여, 이를 바탕으로 분사재의 분사압력을 0.25, 0.3, 0.4MPa, 분당 분사량을 120g/min, 테이블의 X 방향 이송속도는 각각 10, 30, 50mm/sec, Y 방향 이송속도는 100mm/sec로 설정하였으며, 스캐닝 피치는 2.5mm로 하였고, 노즐 직경은 10mm로 노즐과 가공물의 거리는 100mm로 일정하게 유지하며 실험을 하였다.

Table 2 Experimental conditions

Specimen	STAVAX S136
Powder material	WA#2000
Impact angle(°)	90
Mass flow rate (g/min)	120
Blasting pressure(MPa)	0.25, 0.3, 0.4
Nozzle Pitch(mm)	2.5
Distance of Nozzle(mm)	10
Nozzle X Speed (mm/s)	10, 30, 50
Nozzle Y Speed (mm/s)	100

3. 실험결과

Fig. 4는 분사압력 0.4MPa, X 방향 테이블 이송속도 10mm/s로 실험을 수행해 얻은 가공형상으로 비접촉 3차원 광학식 측정기(WYKO NT-1000)을 사용하여 측정하였다.

측정결과 높은 압력에 의해 100µm의 홀을 포함한 모든 패턴이 거의 정확하게 가공되고 있음을 알 수 있다.

본 실험에서는 미세한 패턴을 가공하기 위해 분사 입자 하나의 크기는 약 1~3µm 미립 분사재 WA#2000을 사용하였다. 이에 최초 가공시 가공성을 높이고자 0.4 MPa 높은 압력으로 실험을 수행하였다. 하지만 높은 압력으로 인해 10번의 스캐닝(scanning)만에 마스크 필름 닳아 없어지는 경향을 보이며 최소 10µm 정도 깊이가 가공 되었다.

Fig. 5은 분사압력을 0.3MPa를 낮추고 X 방향의 테이블 이송속도는 10mm/s로 고정하체 실험을 수행하였다. 그 결과 스캐닝(scanning) 횟수 50번으로 최소 20µm 정도의 깊이를 가공할 수 있었다.

Fig. 6의 좌측은 분사압력 0.3MPa, X 방향의 테이블 이송속도는 30mm/s, 우측은 분사압력은 고정하체 테이블 이송속도를 10mm/s로 두 경우 모두 마스크 필름이 닳아 없어질 때까지 실험을 수행하였다. 결과적으로 동일한 분사압력을 가하여 가공을 할 때 이송속도를 적절히 빠르게 하고 스캐닝 횟수를 늘려 가공을 하면 마스크의 마모를 줄일 수 있어 보다 정밀한 패턴을 가공할 수 있음을 알 수 있었다.

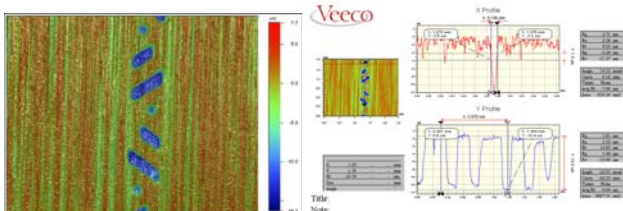


Fig. 4 Surface roughness and shape of pattern(Depth of cut:10µm)

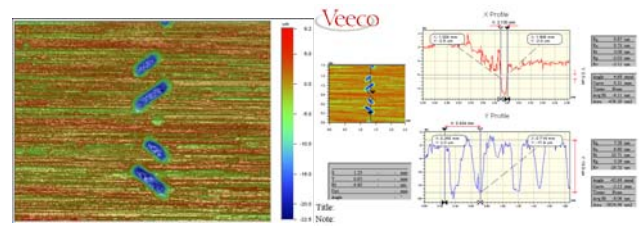


Fig. 5 Surface roughness and shape of pattern(Depth of cut:20µm)

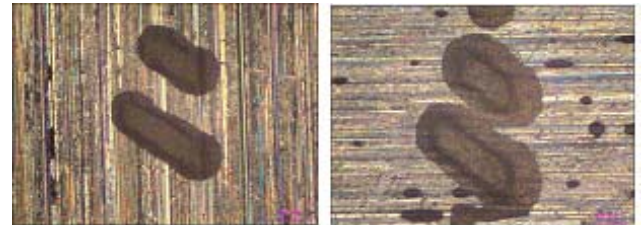


Fig. 6 MVS Photograph of pattern(After blasting process)

4. 결론

핫엠보싱용 금속 스탬프를 제작하는데 있어 파우더 블라스팅 기법을 도입하였으며 이를 이용한 STAVAX의 미세 패턴을 가공시 분사압력과 X 방향 이송속도가 가공성 및 마스크 필름에 미치는 영향을 실험적으로 규명한 결과를 다음과 같이 나타냈다.

(1) 0.4MPa 분사압력에서 가공시 높은 압력으로 인하여 10번의 스캐닝만으로 마스크 필름이 닳아 없어지는 현상이 발생하였다. 이에 분사압력을 0.3MPa로 낮추고 실험을 수행한 결과 최소 20µm의 깊이를 가공할 수 있었다.

(2) 분사압력은 0.3MPa로 고정하고 X 방향 테이블 이송속도와 스캐닝 횟수를 변경하며 실험시 10mm/s, 50번에서 30mm/s, 110번으로 이송속도와 스캐닝 횟수를 늘려 가공하면 마스크 필름의 마모를 줄여 보다 높은 정밀도를 가진 패턴을 가공할 수 있었다.

(3) Fig.5에 보는 것과 같이 패턴된 마스크의 형태대로 모든 패턴이 거의 정확하게 가공되었다. 하지만 깊이방향으로 최대 25µm정도까지 가공이 가능하였다. 추후 두께가 증가된 마스크 필름을 사용하면 가공깊이를 높일 수 있을 것이라 판단된다.

(4) 파우더 블라스팅을 위한 시편의 마스크 공정시 시편의 표면 조도가 따라 필름의 고착도에 많은 영향을 주며 이를 위해 마스크 공정 전에 시편에 파우더 블라스팅 이용해 표면처리를 하면 필름 고착도를 높여 가공성을 증가시킬 수 있을 것이라 판단된다.

참고문헌

1. Scheer, H.-C., Schulz, H., Hoffmann, T. and Sotomayor Torres, C. M., "Nanoimprint techniques," in Handbook of thin film materials Vol. 5 edited by H.S. Nalwa: Academic press, pp. 1-60, 2002.
2. Chou, S.Y., Krauss, P.R. and Renstrom, P.I., "Imprint of sub-25nm vias and trenches in polymers," Applied Physics Letter, Vol. 67, pp. 3114-3116, 1995.
3. Haisman, J., Verheijen, M., Van den Heuvel, K. and Van den Berg, J., "Mold-assisted nanolithography: A process for reliable pattern replication," J Vac. Sci. Technol. Vol. B14, pp. 4124-4128, 1996.
4. Kumar, A. and Whitesides, G. M., "Features of gold having micrometer to centimeter dimensions can be formed through a combination of stamping with an elastomeric stamp and an alkanethiol "ink" followed by chemical etching," Appl. Phys. Lett. Vol. 63, pp. 2002-2004, 1993.
5. Slikkerveer, P. J., Bouten, P. C. P., Haas, F. C. M., "High quality mechanical etching of brittle materials by powder blasting," Sensors and actuators, Vol. 85, pp. 296-303, 2000.
6. Park, D. S., Cho, M. W., Cho, W. S., Lee, J. H., Lee, E. S., Seo, T. I. and Kim, D. W. "Application of Powder Blasting Techniques to Micro-Pattern Making Process for Si3N4-hBN Composites", Key Engineering Materials, 287, pp.51-60, 2005