

# 미세 금형의 버 제거를 위한 자기유변연마 Magnetorheological finishing for deburring of micro mold

\*김두연, 장경인, #민병권, 이상조

\*D.-Y. Kim, K.-I. Jang, #B.-K. Min(bkmin@yonsei.ac.kr), S. J. Lee  
연세대학교 기계공학부

Key words : magnetorheological finishing, curvature, surface roughness, edge effect, abrasive wear, molding

## 1. 서론

정보통신, 바이오, 전자산업, 광학의 기술 발달로 소형화 정밀화가 요구되는 부품의 수요가 증가하고 있으며, 이에 따른 제작기법에 관한 연구 및 방법론 개발 또한 요구되고 있다. 특히 평판형 디스플레이, 초소형 이동기기, 그리고 바이오 산업 등 사용되는 핵심부품의 저전력, 고효도, 저가격화를 구현하기 위하여 초정밀 미세부품들에 대한 수요가 급격히 증가하고 있으며 이를 생산하기 위한 기술도 비약적으로 발전하고 있다. 그 중에서도 마이크로 부품을 균일한 품질을 유지하면서 대량으로 생산할 수 있는 마이크로 금형 가공 기술이 주목 받고 있다. 이 중 3 차원 형상의 마이크로 몰드의 경우에는 MEMS 공정, 마이크로 방전, 그리고 미세기계가공 등이 사용되고 있다. 미세기계가공의 경우, 단순하고 안정된 기술임에도 불구하고 가공시 발생하는 버로 인해 초미세 부품 가공 시 형상정밀도가 떨어지는 단점이 있다.<sup>1</sup> 이와 같은 기술적 난제를 해결하기 위해서는 추가적인 연마공정이 필요하다.

하지만 ELID, Lapping 그리고 CMP 등의 기존 연마방법은 2 차원 평면을 연마하는 기술로서 미세기계가공으로 가공된 3 차원 구조물의 형상을 표면을 연마하는 데에 그 한계가 있다. 최근 기존 표면 연마 공정의 한계를 극복할 수 있는 대안으로 자기유변유체를 이용한 연마 방법, 즉 자기유변연마가 제안되었다. 자기유변연마는 고체와 고체가 직접 접촉하여 연마하는 기존 방식과는 달리 조절이 가능한 점도를 가진 유체를 사용하여 표면을 연마하는 방식이다. 이러한 특징으로 시편에 물리적 손상을 거의 가하지 않으면서 3 차원 형상의 표면을 연마할 수 있는 장점이 있다.<sup>2</sup>

본 연구에서는 3 차원 표면연마에 장점을 지닌 자기유변연마공정을 기존의 미세절삭가공된 표면에 존재하는 버 제거 및 표면품질향상을 위한 연구에 적용하고자 한다.

## 2. 자기유변유체 및 자기유변연마공정

자기유변유체는 수 마이크로미터 크기의 자성체인 Carbonyl Iron(CI) 입자들이 비자성의 용매 속에 분산되어 있는 형태로 일종의 혼합액으로 분류된다. 자기유변유체는 자기장이 인가되지 않은 상태에서 일반적인 Newtonian 거동을 나타내는 유체이지만, 외부 자기장을 인가하면 내부의 CI 입자들이 그림 1(a)와 같이 자화되고, 자화된 입자와 입자 간의 정자기력 상호에너지에 의해 자기장과 평행한 방향으로 기둥 형태의 사슬 구조를 형성하게 되며, 이로 인하여 자기유변유체는 외부 자기장에 의해 조절 가능한 항복응력을 가지는 일종의 Bingham 유체 (식 (1))의 거동을 한다.<sup>3</sup>

자기유변연마공정은 외부 자기장에 의해 일정 항복 응력을 가지는 자기유변유체를 시편의 표면에 특정 압력 및 상대속도로 부여하면서 연마하는 공정이다. 그림 1(b)는 자기유변연마 중 표면의 재료가 제거되는 원리를 묘사한 개략도이다. 그림에서 나타난 바와 같이 CI 입자의 사슬 구조와 가공물 사이에서 발생하는 기계적 마찰로 인하여 표면의 돌출 부분에 응력이 집중된다. 이 때에 인가된 응력의 크기가 재료의 항복응력을 넘게 될 경우 재료는 소성변형하며 제거된다 (Abrasive wear). 시편의 크고 작은 돌출부

들이 자기유변유체에 의해 지속적으로 제거됨으로써 시편의 표면품질이 향상된다.

$$\tau = \tau_y(H) + \eta \frac{dv}{dz}, \tau > \tau_y \quad (1)$$

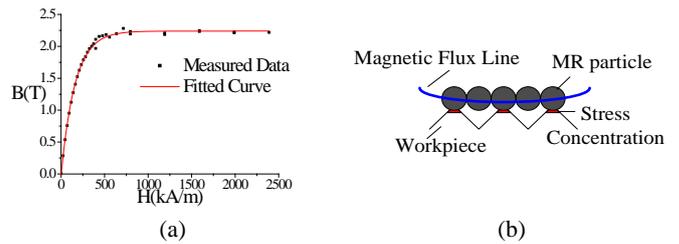


Fig. 1 (a) Magnetization curve of CI particle, (b) Schematic principle of MR finishing

## 3. 실험

### 3.1 실험 장치 및 구성

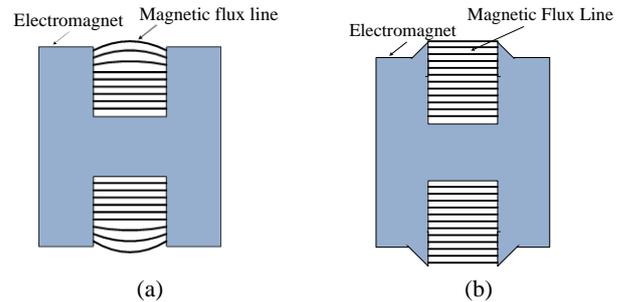


Fig. 2 Magnetic flux line of (a) conventional and (b) developed electromagnet

본 연구에서 사용되는 시편은 1cm×1cm 면적에 폭 30 μm, 높이 20 μm, 피치 60 μm의 미세 채널이 패터닝된 황동시편이다. 이러한 형태의 시편은 그림 2(a)의 자기장 분포를 형성하는 기존의 Ribbon type 또는 Wheel type 등의 기존 자기유변연마장치로는 시편 표면을 균일하게 연마하기 힘든 단점이 있다. 본 논문에서는 이를 개선하기 위해 그림 2(b)와 같은 새로운 형태의 전자석을 제작하였다. 시편의 전면에 걸쳐 균일한 자기장세기를 인가할 수 있는 장점을 지니 시편의 표면을 균일하게 연마가 가능하다.

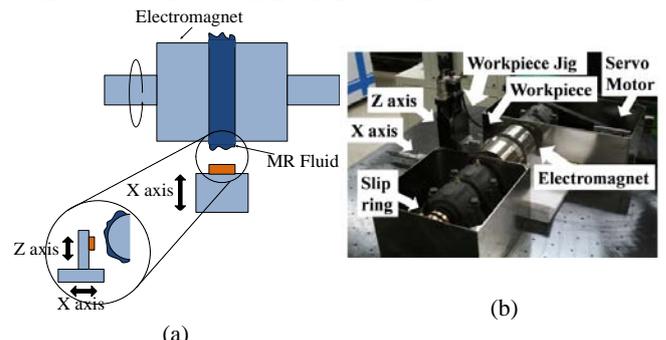


Fig. 3 Experimental set-up for MR finishing process: (a) schematic diagram, and (b) picture

그림 3 는 실험장비의 개략도 및 사진을 정리한 그림이

다. 그림 2(b)의 전자석을 모터 회전축에 체결하였고 슬립링을 추가 장착하여 전자석이 회전할 경우에도 지속적인 전원공급 및 자기장 형성을 가능하게 하였다. 전자석 상단부에 설치된 노즐은 자기유변유체를 가공영역에 주입시키는 역할을 한다. 전자석에 부착된 자기유변유체에 상하왕복운동을 하는 시편을 접촉시키면 자기유변유체와 시편 사이에 특정압력과 상대운동이 발생하면서 시편이 연마된다

3.2 실험조건

미세 금형의 버를 제거하기 위한 실험을 수행하기 위하여 자기유변연마의 주요 변수인 자기장의 세기와 회전속도를 공정변수로 선정하였다. 제작된 전자석의 성능평가 및 정확한 자기장 인가를 위해 본 연구에서 설계 및 제작한 전자석의 인가전류에 따른 자기장 세기를 측정 및 분석하여 그림 4에 나타내었다.<sup>4</sup>

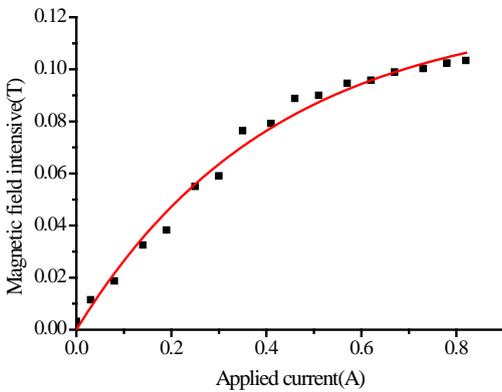


Fig. 4 Magnetic field intensive with applied current

실험에 사용된 조건은 표 1에 정리하였으며, 시간에 따른 시편의 형상 및 표면조도의 변화를 각각 scanning electron microscope (SEM)과 white light interferometer를 이용하여 측정하였다.

Table 1 Experimental condition

Current	Magnetic field	Rotation speed
0.17 A	0.04 T	50 rpm

3.3 실험 결과 및 분석

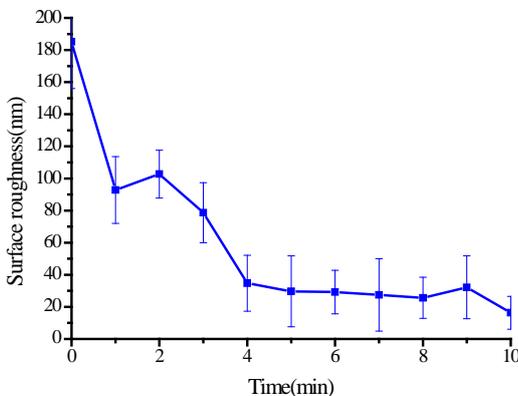


Fig. 5 Variation of surface roughness with elapsed time

표 1의 조건으로 실험을 수행하였으며 그 결과를 그림 5에 정리하여 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 초기에 약 180nm이었던 표면조도가 점차 감소하기 시작하여 약 4분이 경과된 이후에는 표면조도가 30nm의 값으로 감소되며 그 이후에는 10~30nm의 범위에 수렴하였다.

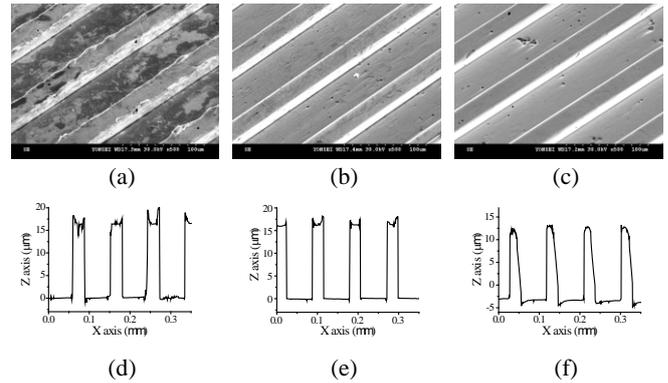


Fig. 6 Surface profile of copper mold (a, d) before finishing, (b, e) after 4 minute, and after 10 minute (c, f)

그림 6은 초기, 4분이 경과된 후, 그리고 10분이 경과된 후의 시편의 표면 및 프로파일을 측정된 그림이다. 실험 결과를 보면 초기의 시편의 표면에 무수히 많은 버가 존재하였지만, 자기유변연마공정으로 약 4분간 연마한 후에는 이들이 거의 대부분 제거된 것을 알 수 있다. 이는 시편의 버 부분에 응력이 집중되어 버만 선택적으로 제거되었기 때문인 것을 알 수 있다. 10분이 경과된 다음에는 버 뿐만 아니라 채널의 모서리 부분이 무너지는 것을 알 수 있다. 이 역시 모서리 부분에 응력이 집중되었기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 경향은 그림 6의 (d-f)의 표면 프로파일을 통해 확인할 수 있다. 이는 자기유변연마 시 모서리 효과(Edge effect)에 의해 선택적으로 Burr가 제거될 수도 있지만, 과도한 연마 시 형상정밀도가 떨어질 수 있는 점을 나타낸다.

4. 결론

본 연구에서는 미세 금형의 버를 제거하기 위해 자기유변연마공정을 적용하였다. 실험 결과, 미세기계가공을 통해 제작된 표면에 존재하였던 크고 작은 버가 자기유변연마공정시 발생하는 모서리 효과를 통해 효과적으로 제거되는 것을 알 수 있었다. 하지만, 과도한 연마 시 동일한 모서리 효과에 의해 본래의 형상이 무너져 형상정밀도가 낮아진다는 점도 알 수 있었다.

후기

본 연구는 지식경제부 청정제조기반산업원천기술개발사업인 "고효율 에너지빔 응용 초미세 부품 제조용 In-line 시스템 개발" 연구비 지원으로 이루어 졌습니다.

참고문헌

1. Ko, S.L., Baron, Yu M, Park, J.I., "Micro deburring for parts using magnetic abrasive finishing method", Journal of Materials Processing Technology, **187-188**, 19-25, 2007.
2. Seok, J., Jang, K.-I., Min, B.-K., and Lee, S.J., "A study on the fabrication of curved surfaces using magnetorheological fluid finishing", International Journal of Machine Tools & Manufacture, **47**, 2077-2090, 2007.
3. Jang, K.-I., Seok, J., Min, B.-K., and Lee, S.J., "A 3D Model for Magnetorheological fluid that Considers Neighboring Particle Interactions in 2D Skewed Magnetic Fields", International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, **10**, 115-118, 2009.
4. Jang, K.-I., Seok, J., Min, B.-K., and Lee, S.J., "Behavioral model for magnetorheological fluid under a magnetic field using Lekner summation method", Journal of Magnetism and Magnetic Materials, **321**, 1167-1176, 2009.