

재료표면모델을 이용한 자기유변연마공정의 특성분석 Characteristic analysis of magnetorheological finishing process using material surface model

*이승호, 장경인, #민병권, 이상조

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

Key words : magnetorheological finishing, surface roughness, abrasive wear, discrete fourier transform, power spectral density

1. 서론

평판형 디스플레이, 초소형 이동기기, 바이오 산업 등에서 핵심부품들의 저전력, 고회도, 저가격화를 위하여 조정밀 미세부품들에 대한 수요가 급격히 증가하고 있으며 이를 생산하기 위한 기술도 비약적으로 발전하고 있다. 그 중에서도 마이크로 부품을 대량으로 생산할 수 있는 마이크로 금형 가공 기술이 더욱 주목 받고 있다. 3 차원 형상의 마이크로 몰드의 경우 MEMS 공정, 마이크로 방전, 그리고 미세기계가공(mechanical micromachining) 등이 사용되고 있다. 그 중 미세기계가공의 경우, 가장 단순하고 안정된 기술임에도 불구하고 가공표면의 한계로 인해 초미세 부품 가공 시 표면조도가 높은 단점이 있다. 따라서 위와 같은 가공방법으로 제작한 구조물을 높은 표면 품질을 가질 수 있는 연마공정이 필요하다.

기존의 연마 방식인 ELID (Electrolytic In-process Dressing), 래핑(lapping) 그리고 CMP (Chemical Mechanical Polishing) 등의 방식은 3 차원 구조물의 형상을 유지하면서 표면을 연마하는 데에 어려움이 있다. 이러한 기존 표면연마 공정의 한계를 극복할 수 있는 방안으로 자기유변유체(Magnetorheological Fluid, MR fluid)를 이용한 연마 방법이 제안되고 있다. 자기유변유체를 이용하는 연마는 고체와 고체가 직접 접촉하는 기존의 연마 방식과 달리 조절이 가능한 점도를 가진 유체를 사용하여 연마하는 방식이기 때문에 시편에 가해지는 손상이 적다. 그리고 형상에 맞게 자기유변유체의 형상이 변화하기 때문에 3 차원 구조물의 형태를 유지하면서 표면을 연마할 수 있는 장점이 있다.

기존의 자기유변연마공정은 공정영역에서 불균일한 자기장의 형성으로 인하여 자기력선이 곡선의 형태를 가진다. 이러한 곡선형상은 표면을 연마할 때 위치에 따라 가공력을 달라지게 하며, 이 때문에 batch process에 적용할 수 없다.

본 연구에서는 재료 제거량을 높이면서도 균일한 자기장을 생성시키기 위한 공정을 제안하였다. 그리고 자기유변연마공정 중 변화하는 재료의 표면 특성을 해석하고자 실험을 수행하고 그 결과를 DFT(Discrete Fourier Transform) 변환하여 비교함으로써 재료표면의 특성을 연구하고자 한다.

2. 공정제안 및 장비개발

기존 장비의 한계를 해결하기 위하여 자기력선의 형태가 직선이며 평행하도록 공정영역을 변경한 전자석을 설계하였다. Fig.1는 전자석을 이용한 실험장비를 나타낸 그림이다. 전자석은 회전축과 베어링에 의하여 지지되며 서보모터를 이용하여 회전시킨다. 자기유변유체는 전자석의 양극 사이에 공급되고, 그 영역에서 형성되는 자기력선의 형태와 크기는 Fig.2에 나타나있다.

Fig.2는 전자석의 코일에 전류를 흘려주면 균일한 자기장이 형성되고 그로 인하여 자기력선이 평행하게 생성됨을 보여준다. 공정영역에서 발생하는 자속밀도의 크기는 전류와 위치에 따라서 결정된다

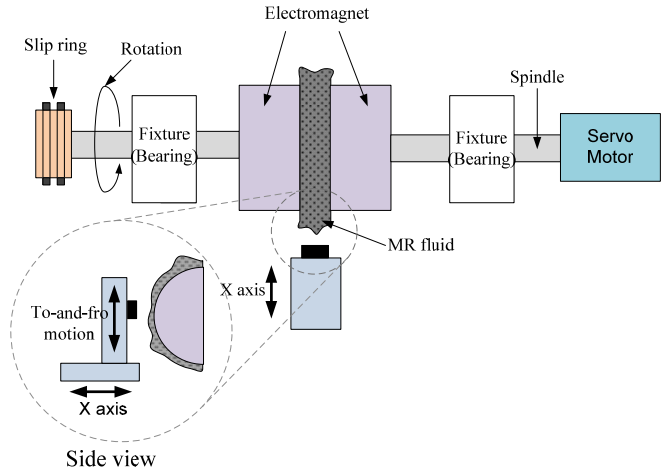


Fig. 1 Schematic of a MR finishing machine

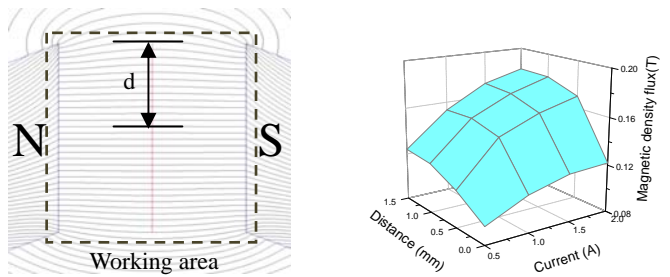


Fig. 2 (a) The magnetic flux line between electromagnet poles
(b) The magnetic flux density of electromagnet

3. 공정특성분석

공정의 특성을 분석하기 위하여 실험을 수행하였다. 시편은 알루미늄 재질의 높이 100 μm, 폭 500 μm 인 채널을 마이크로 밀링을 이용하여 제작하였다. Fig.3은 가공시간이 증가함에 따라 R_a의 변화를 나타낸 그래프이다. 전자석의 회전속도와 자속밀도의 크기는 각각 200rpm, 0.12T로 설정하였고, 연마된 표면은 10회 측정하였다. 초기에는 R_a가 급격하게 감소하지만 시간이 지날수록 기울기가 작아지고 약 30분 후에는 R_a의 변화가 거의 없는 것으로 나타난다.

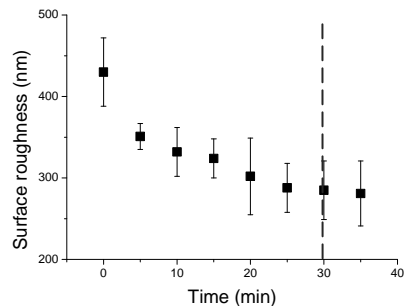


Fig. 3 Variation of surface roughness during MR finishing process

전자석의 회전속도, 자속밀도의 크기 그리고 연마제의 종류와 입자의 크기에 따른 R_a 의 변화를 알기 위하여 실험을 수행하였다. 실험 시간은 Fig.3에 나타난 결과를 바탕으로 각 30분으로 설정하였다.

Fig.4는 회전속도 변화에 따른 R_a 의 변화를 나타낸 그래프이다. 회전속도가 증가하면서 초기에는 R_a 값이 감소하지만, 속도가 계속 증가함에 따라 R_a 값이 다시 증가한다. 그 이유는 속도가 계속 증가하면 표면에 전자석의 회전 방향을 따라 스크래치가 발생하기 때문이다. Fig.5는 자속밀도의 크기가 변화할 때 R_a 의 변화를 나타낸 그래프이다. 자속밀도의 크기가 증가하면 MR 입자들이 형성하는 사슬 구조의 항복응력이 증가하고, 이로 인하여 표면에 스크래치 형상이 발생하기 때문에 R_a 가 높아진다. Fig.6은 연마제의 종류와 입자의 크기에 따른 R_a 의 변화를 보여준다. 입자의 크기가 $0.5\mu\text{m}$ 인 경우에는 재료제거율이 향상되어 R_a 의 값이 작게 나타난다. 그러나 입자의 크기가 $3\mu\text{m}$ 가 되면 연마제의 높은 경도로 인해 표면에 스크래치를 더 쉽게 형성하기 때문에 R_a 가 증가한다.

Fig.7은 채널형상을 기존의 공정과 제안한 공정을 각각 적용하였을 때의 표면 형상변화를 보여준다. 기존 공정은 균일하지 않은 자기력선의 형상으로 인하여 양끝은 가공이 되지 않고, 가운데 부분만 가공이 발생한다. 따라서 그림과 같이 표면에 의도하지 않은 곡면 형상이 나타나게 된다. 새로운 공정의 경우, 채널 구조가 변화하지 않으며 R_a 를 초기 430nm 에서 약 180nm 로 낮출 수 있었다.

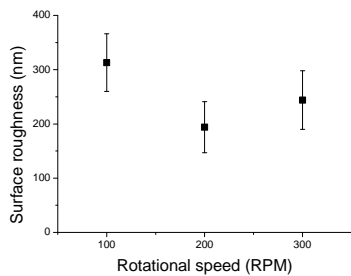


Fig. 4 Variation of surface roughness with rotational speed

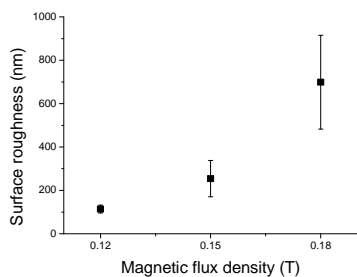


Fig. 5 Variation of surface roughness with the magnitude of magnetic flux density

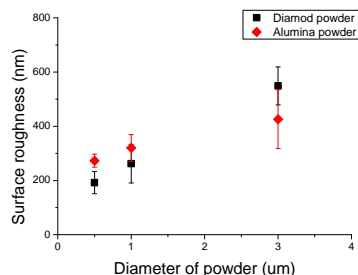


Fig. 6 Variation of surface roughness with diameter of powder and kind of abrasives

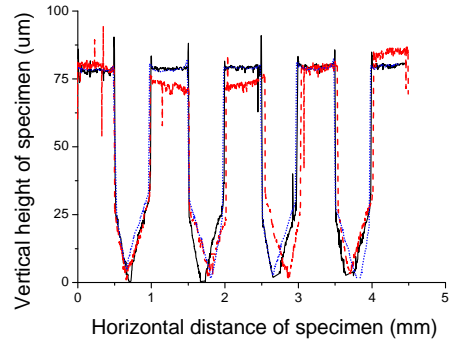


Fig. 7 Surface profile of specimen

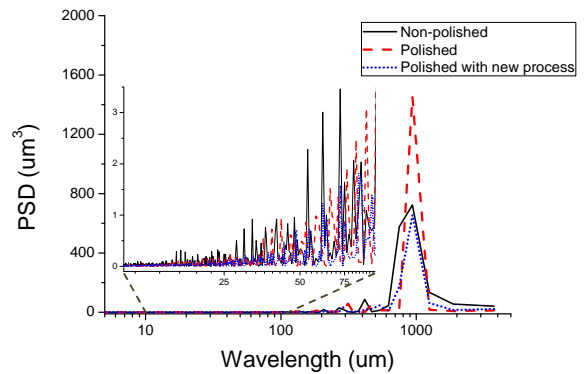


Fig. 8 DFT result of surface profile of Fig.7

Fig.8은 표면 형상을 DFT로 분석한 결과이다. 표면이 연마 되어 파장이 $100\mu\text{m}$ 이하 영역의 PSD는 모두 감소하였다. 기존공정의 경우 시편의 중앙 부분이 많이 가공되어 표면에 곡면형상이 형성되고 이로 인하여 파장이 $1000\mu\text{m}$ 근처 영역에서의 PSD가 증가하였다. 새로운 공정을 적용한 결과, 채널의 형상이 유지되며 표면 거칠기가 향상이 되었기 때문에 전 영역에서 PSD가 줄어드는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 자기유변연마공정에서 batch process를 할 때 전면에 걸쳐서 균일한 가공결과를 얻기 위한 공정을 제안하였다. 새로 제안한 공정을 적용한 경우 기존 공정과 달리 표면에 곡면형상이 발생하지 않으며 표면 거칠기도 향상되어, DFT 분석결과 전 영역에서 PSD가 감소함을 알 수 있었다

후기

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

참고문헌

1. J. Seok, Y. J. Kim, K.-I. Jang, B.-K. Min, S. J. Lee, "A study on the fabrication of curved surfaces using magnetorheological fluid finishing", International Journal of Machine Tools & Manufacture, **47**, 2077-2090, 2007.
2. W. B. Kim, S. H. Lee, B.-K. Min, "Surface finishing and evaluation of three-dimensional silicon microchannel using magnetorheological fluid", American Society of Mechanical Engineers, **126**, 772-778, 2004.