

원통형 재료의 디버링을 위한 자기유변유체 공구의 설계 Magnetorheological fluid deburring tool design for cylindrical workpieces

*김두연, 장경인, #민병권, 이상조

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

연세대학교 기계공학과

Key words : magnetic buoyant force, yield stress, material removal rate. Preston equation

1. 서론

최근 들어 대면적 제품의 수요가 급증하고 있으며 특히 1m 이상의 크기가 요구되는 광학 필름 등의 제조에는 연속성형 형태의 롤금형을 이용한 생산방식이 주목 받고 있다. 이러한 롤금형의 패턴 정밀도가 높아짐에 따라 금형의 정밀도를 높이기 위해 디버링의 필요성이 생기고 있다.

자기유변유체를 이용한 디버링 방법은 조절이 가능한 점도를 가진 유체를 사용하여 디버링하는 방식이기 때문에 시편에 가해지는 손상이 적다. 그리고 시편 형상에 맞게 자기유변유체의 형상이 변화하기 때문에 3 차원 구조물의 형태를 유지하면서 공정을 수행할 수 있는 장점이 있다.¹ 또한 연마제를 사용하면 고경도 재질도 디버링이 가능하다는 장점도 가지고 있다.²

본 연구에서는 직경이 큰 원통의 표면을 자기유변유체를 이용해 디버링하기 위한 공구의 설계 조건을 제시한다. 특히 불룩한 원통 표면에 연마제를 효과적으로 공급하기 위해 자기부력의 방향을 고려한 전자석의 배치와, 설계에 따른 자기부력 및 항복응력 해석을 논의한다.

2. 이론

자기유변유체의 디버링 공정 시 재료제거율은 프레스턴 방정식 (식 (1))에 의하여 구해진다. 프레스턴 방정식을 살펴보면 재료제거율 R 은 프레스턴 상수 k, 가압력 P 와 공작물과 툴 사이의 상대속도 U 에 의하여 결정된다.³ 이 식은 다음과 같다.

$$R = kP|U|. \quad (1)$$

이 방정식의 요소 중 가압력 p 는 자기유변유체를 이용한 디버링 공정에서 유체 내부에서 연마제가 받는 자기 부력이라고 가정한다.

$$F_B = \mu M \nabla H V, \quad (2)$$

여기서 μ 는 진공에서의 투자율이고 M 은 자성유체를 통해 만들어 낼 수 있는 포화자화이고 ∇H 는 자기력선의 공간 구배를 나타낸다.⁴

자기 부력이란 자성유체 내부에서 비자성체가 받는 힘이다. 유체 내부에서 비자성체가 받는 힘은 밀도 차에 의해 발생하는 수력학적 부력과 자기력선 공간 구배에 의한 자기 부력의 합으로 나타낸다. 이 공정에서는 자기부력에 비해 수력학적인 부력은 상대적으로 값이 작기 때문에 무시 할 수 있다.

3. 설계

자기부력을 향상시키기 위하여 기존의 자기유변 유체를 이용한 연마공정에 사용되던 N 극과 S 극, 즉 두 개의 극을 가지는 전자석을 본

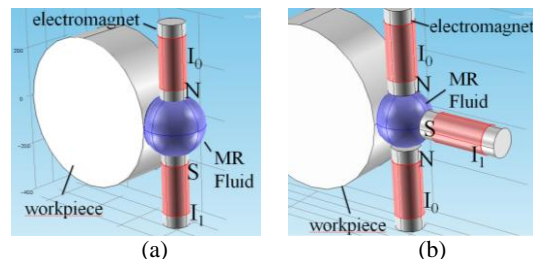


Fig. 1 Schematic diagram of (a) conventional electromagnet, (b) proposed electromagnet

연구에서는 N극과 N극을 마주보게 한 후 수직 방향의 S극을 추가하여 세 개의 전자석으로 설계하였다. 이러한 설계는 수직방향에 S극을 추가함으로써 자기력선의 방향과 크기를 쉽게 바꿀 수 있다는 장점을 가지고 있다.

Fig.1(a)와 같이 전자석을 배치하고 자기장의 방향을 설정한 후, 전류 밀도의 비를 달리 하며 자기부력 크기의 변화를 계산하였다. 또한 기존의 전자석과의 비교를 위하여 Fig.1(b)와 같이 두 개의 전자석이 N극, S극으로 된 형태를 해석하여 비교하였다. 해석 과정에서 자기유변유체를 균일한 투자율을 갖는 유체로 가정하였다. 유한요소기법을 이용하여 자기장을 해석하였고 사용된 프로그램은 COMSOL Multiphysics 4.0a 이다.

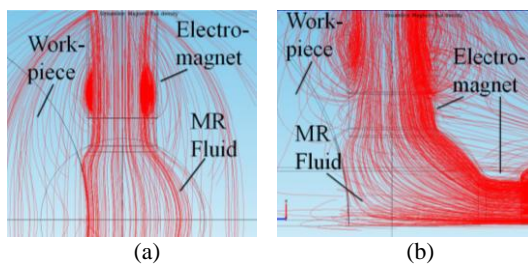


Fig. 2 Magnetic flux line of (a) conventional electromagnet, (b) proposed electromagnet

기존의 전자석의 경우 해석결과는 Fig.2(b)와 같이 자기력선이 형성되었는데 이는 자기부력의 방향이 원통형 구조물의 중심으로 향하지 않아서 원통형 구조물의 회전 시 연마제의 이탈이 많을 것으로 예상 된다.

제안된 전자석의 경우 해석결과는 Fig.2(a)와 같이 형성 되었다. 자기력선 구배에 따른 자기부력의 방향은 원통형 구조물 중심으로 향하는 것을 볼 수 있다. 이는 기존의 전자석 형태 보다 원통형 구조물의 회전에 의해 연마제가 이탈하는 것을 줄일 수 있다.

Fig.3(a)를 보듯이 전자석이 두 개일 때 보다 세 개일 때 원통형 구조물의 표면 방향으로의 자기부력이 강한 것을 볼 수 있다. 또한 전자석이 3 개 일 때 S극의 역할을 하는 전자석의 전류가 커지면 자기부력도 커지는 것을 볼 수 있다. 또한 이때 구한 자기장의 세기로 시편 표면에서의 자기유변유체의 항복 응력을 구

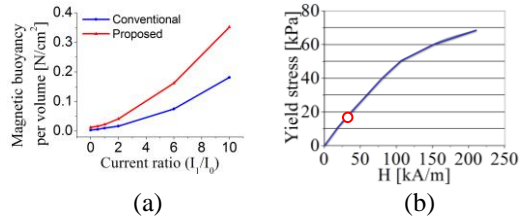


Fig. 3 (a) Magnetic buoyant force per volume with current ratio, (b) Yield stress versus magnetic induction

할 수 있다. 구한 항복응력 값은 Fig.3(b)와 같이 약 20 kPa 정도이다. 이 값은 황동과 같은 일반적인 금속 재료의 디버링이 가능한 값이다.

4. 결론

본 연구에서는 원통형 재료의 디버링을 위한 자기유변유체 공구를 설계하였다. 설계 결과, 20 kPa 정도의 항복응력과 기존의 2 배정도의 크기를 갖는 자기부력을 얻을 수 있었다. 이를 이용하면 원통형 구조물의 디버링 공정 시 재료제거율이 향상될 것으로 판단된다.

후기

본 논문은 지식경제부의 전략기술개발사업 “대면적 미세형상 가공시스템 개발”과제의 지원 하에 수행되었습니다.

참고문헌

1. Seok, J., Jang, K.-I., Min, B.-K., and Lee, S. J., "A study on the fabrication of curved surfaces using magnetorheological fluid finishing," *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, **47**, 2077-2090, 2007
2. Jha, S., Jain, V.K., "Modeling and simulation of surface roughness in magnetorheological abrasive flow finishing (MRAFF) process," *Wear*, **261**, 856-866, 2006
3. Preston, F. W., "The theory and design of plate glass polishing machine," *J. Soc. Glass Technol.*, **11**, 247, 1927.
4. Rosensweig, R. E., "Ferrohydrodynamics," Dover publications, Inc., 150-153, 1985