

마이크로 성형해석을 통한 유체 동압베어링의 헤링본 패턴성형 Micro Forming Simulation of Herringbone Pattern of Fluid Dynamic Bearing

*#이형욱¹, 박성준², 김정배¹, 이해진³, 송정환³

*#H. W. Lee(hwlee@cjnu.ac.kr)¹, S. J. Park², J. B. Kim², H. J. Lee², J. H. Song²

¹충주대학교 에너지시스템공학과, ²충주대학교 기계공학과, ³한국생산기술연구원 융합생산기술연구부

Key words : Micro Forming Simulation, Herringbone Pattern, Fluid Dynamic Bearing, Elastic Recovery

1. 서론

유체동압베어링은 하드디스크 모터에 사용되어 저소음, 고속, 저진동의 고정밀도 구동에 사용된다. 유체동압은 회전축의 표면에 있는 헤링본(Herringbone) 형태의 그루브를 통과하는 유체의 집중에 의하여 발생된다. 동압을 발생시키는 그루브의 형상은 Fig. 1과 같으며, 이 헤링본 형상에 따라서 발생하는 압력이 달라진다. 그루브의 형상 중 높이 각도, 폭, 그루브 간격, 머리부의 형상이 주요 설계변수이다¹.

기존의 그루브는 전해가공을 통하여 슬리브에 형상을 가공하였다. 본 연구에서는 냉간전조가공을 통하여 회전축에 그루브를 성형하고자 한다. 회전축과 같은 형상을 가지는 부품의 성형은 주로 전조성형방법을 사용하여 저하중에서 보다 쉽게 가공할 수 있다. 점진성형방법의 하나인 전조성형법은 재료의 손실이 적으며 높은 생산성을 가지나 금형설계에 그 어려움이 있다^{2,3}. SUS 재질의 축에 냉간소성가공으로 패턴을 성형하면, 탄소성변형이 일어나며, 탄성 복원에 따라 성형된 깊이가 변화하게 되어 성형된 치수를 예측하기 힘들다.

본 연구의 목표는 헤링본 그루브를 성형할 수 있는 금형을 설계하고 성형공정의 모사를 통하여 소성가공을 통한 헤링본 그루브 성형의 타당성을 판단하는 것이다. 이를 위하여 유한요소 해석을

통한 마이크로 그루브 성형을 수행하고, 탄성복원을 고려한 그루브 깊이를 파악한다. 그루브 성형하중 및 탄성복원량을 계산하여 성형장비의 개발에 이용하도록 한다.

2. 성형조건

성형해석에 사용된 유체동압베어링은 3.5인치 하드디스크의 부품이며, 측정된 헤링본 패턴의 형상을 Fig. 2에 도시하였다. 패턴의 폭은 240 μ m이고, 패턴의 깊이는 약 4 μ m이다. 성형할 축의 소재는 SUS 계열로 압축물성실험을 통하여 얻은 유동응력 식은 $\sigma_Y = 534 + 718\epsilon_p^{0.0338} MPa$ 이다.

해석 모델은 총 35,247개의 절점으로 구성되었으며, 4절점 3차원 요소를 사용하였다. 탄소성을 고려한 회전 성형해석을 수행하기 위하여 LS DYNA 3D를 사용하였다. 회전의 안정성을 확보하기 위하여 프레싱 공정을 적용한 후에 회전전조 공정을 적용하도록 하였다. 3개의 헤링본 패턴을 구성하였고, 전조공정만을 평가하기 위하여 첫 번째 헤링본 패턴에서 프레싱 공정이 이루어지도록 하였고, 두 번째 헤링본 패턴에 의한 성형결과를 분석하도록 하였다.

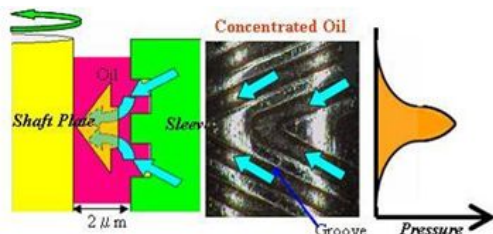


Fig. 1 Schematic diagram of fluid dynamic bearing

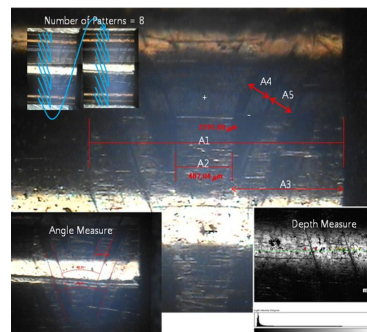


Fig. 2 Microscopic photo of herringbone groove

3. 성형해석결과

성형해석은 3.33GHz, 4 CPU를 사용한 PC에서 약 23시간 소요되었고, 해석 시간에 따른 잔류 유효 소성변형률 분포를 Fig. 3에 도시하였다.

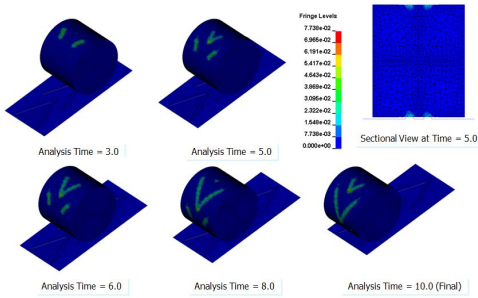


Fig. 3 Residual effective plastic strain distribution with respect to the analysis time

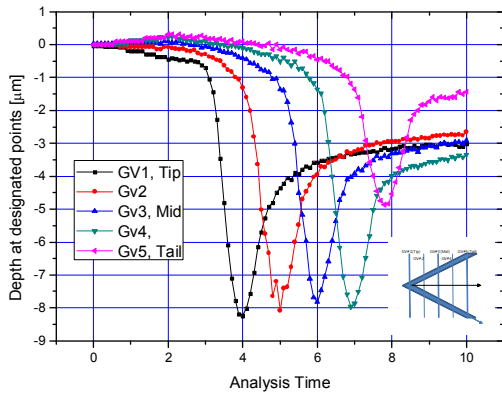


Fig. 4 Variation of depth change at the designated points with respect to the analysis time

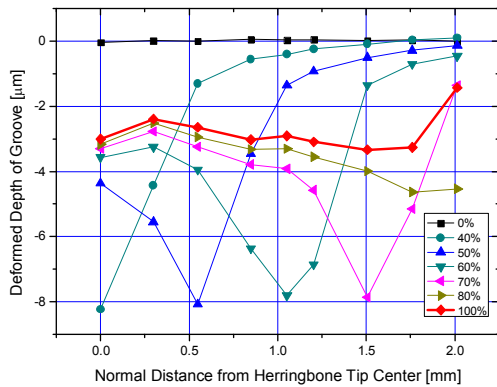


Fig. 5 Deformed depth variation of the groove according to the normal distance from the herringbone tip center with respect to the analysis ratio

그루브의 선단부에서 과도한 성형이 일어나는 현상을 확인하고, 선단부에서의 금형의 깊이를 조절하여 그루브 전체적인 깊이가 일정하도록 하였다. 그루브의 머리쪽 선단부를 측정점 1로 하고, 꼬리부를 측정점 5로하여 5점에서 성형 중 깊이의 변화를 측정하였다. Fig. 4에는 각 측정점에서 초기 탄소성 변형이 발생하고, 탄성복원을 통하여 각 측정점의 깊이가 변화하는 현상을 도시하였다.

성형정도에 따라 그루브의 깊이변화를 Fig. 5에 도시하였다. 초기에 평편했던 표면이 약 40%의 성형을 통하여 선단부가 약 8 μ m의 깊이로 성형되었고, 탄성복원에 의하여 최종적으로 약 3 μ m의 깊이가 된다. 금형이 진행함에 따라 각부위가 최대 깊이로 성형된 후 복원되는 것을 알 수 있다.

최대성형하중은 약 291N이었으며, 프레싱 공정 이후 전조공정에서는 약 250N의 하중이 필요한 것을 얻을 수 있었다.

4. 결론

헤링본 형상의 그루브를 축에 성형하기 위하여 평판형 회전전조를 이용한 냉간소성가공법을 적용하였다. 유한요소해석을 통하여 탄성복원을 고려한 금형을 설계하였고, 그루브 바닥면 전 영역에서 약 3 μ m의 고른 분포의 깊이를 얻을 수 있음을 확인하였다.

후기

본 연구는 2008년도 산업원천기술개발사업 중 “마이크로 금속소재 기능성 핵심 요소부품 초정밀 점진성형기술개발” 사업의 지원을 받았습니다.

참고문헌

1. 정성훈, 이영제, 정대현, “레이저 프린터에 사용되는 빗살무늬 유체동압 베어링과 스테너 모터의 특성,” 대한기계학회 논문집 A권, Vol. 24, No. 1, pp.269-274, 2000.
2. Kuboki, I., “Form Rolling Process for Shaping Grooves, Steps and Threads in Long Stem with Minute Diameters using Only One Stroke,” J. of JSTP, Vol. 46, No. 529, pp.156-160, 2005.
3. 이형욱, 이근안, 최석우, 윤덕재, 임성주, 이용신, “반응표면법을 이용한 냉간전조압연공정 설계 변수의 영향도 분석 및 설계최적화,” 한국소성가공학회 논문집, Vol. 15, No. 8, pp.550-555, 2006.