

마이크로 스크류의 해석기반 판형 전조성형공정 연구

박기동¹, 송정한[#], 이해진¹, 이근안¹, 이낙규¹, 이형욱², 나승우³

Simulation based Process Design of Flat Die Thread Rolling for Micro Screw

K.D. Park, J.H. Song, H.J. Lee, G.A. Lee, N.K. Lee, H.W. Lee, S.W. Ra

Abstract

There have been strong demands for micro size screw with high precision due to miniaturization and integration trends for electronic products such as Hard Disk Drives. The thread rolling process for screw manufacturing are lower unit cost, reduced material utilization, and superior mechanical properties compared to the machining process. But little work has been done on the thread rolling of micro size screw. In this paper, we investigate thread rolling process using Finite Element Analysis (FEA) and parameter study for screw manufacturing. And we also carried out compression tests to obtain the material property and to implement into the FE tool for the numerical simulation. In case that parameter of relative position of dies is half length of pitch for maintaining the continuous thread profiles, we found that shear friction factor was 0.9 during the thread rolling process using FEA. We are trying to develop the thread rolling process using the FE-simulation to manufacture screws which have been commonly produced from the industrial level fabrication at present.

Key Words: Micro Screw, Flat Die Type Thread Rolling, Finite Element Analysis

1. 서 론

최근 각종 전자제품 및 HDD, SDD의 소형화 및 정밀화로 인해 전자제품의 체결 부품인 스크류 역시 소형화 되고 있는 추세이다. 부품소재의 선진국인 일본, 독일, 미국등은 스크류의 소형화 추세에 대응하여 각종 성형공정 기술개발과 제조 시스템 설계기술을 활용하여 직경 1mm 이하 SUS 급 마이크로 스크류의 양산체제를 구축하고 있다. 현재 국내에서도 고정밀 소형화 체결부품 연구개발에 매진하고 있으나 기술적인 한계로 개발이 미진하며, 특히 스크류 생산 시 요구되는 공정 설정 및 불량해결은 대부분 작업자의 경험에 의존하여 생산하는 경우가 일반적이다.

전조과정을 통해 스크류를 제작할 경우 치형이 소성변형에 의해 가공경화되며, 조직이 치밀해져

기계적인 강도가 향상된다. 이러한 장점으로 인해 여러 연구자들이 유한요소해석을 이용한 Thread Rolling 과정을 연구하고 있으며, Domblesky 등은 Deform-2D 를 이용한 스크류의 전조해석을 실시하였다.[1] 또한, Kao 는 평다이스를 이용한 taper-tip type 의 스크류 전조유한요소해석을 실시하였다.[2] 그러나 아직까지 국내에서 유한요소해석을 이용한 마이크로 단위의 SUS 급 전조해석을 실시한 연구는 미비한 실정이다.

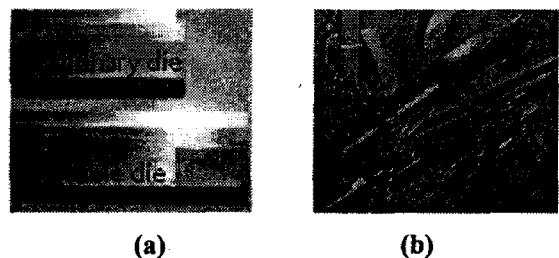


Fig. 1 Shape of the tools: (a) flat dies; (b) rolling machine

1. 한국생산기술연구원 융합생산기술연구부
2. 충주대학교 에너지시스템공학과
3. ㈜ 서울금속
교신저자: 한국생산기술연구원 융합생산기술연구부
E-mail: jhsong@kitech.re.kr

본 연구목표는 HDD 체결용 고정밀 소형화 스크류 생산을 위해 유한요소해석을 기반으로 한 전조금형을 설계하고, 현장의 공정변수를 정량화하여 전조 시 발생하는 불량률을 감소시킨다. 또한 작업자의 경험에 의해 진행되고 있는 전조공정을 FE-simulation을 통해 스크류 전조성형의 D/B화를 구축한다. 본 연구에서 사용된 전조성형 대상은 SUS급 직경1.4mm 피치0.3mm의 마이크로 스크류이며, 연구에서 사용된 전조기계와 M1.4p0.3 전조금형을 Fig. 1에 도시하였다.

2. 기계적 물성 평가

2.1 신선소재 압축시험

SUS급 410계열 신선소재의 물성평가를 위해 압축시험을 실시하였다. 시편의 초기 직경은 1.14mm 이며, 높이는 세장비 약 1.5배인 1.6mm 이상으로 선정하여 진행하였다. 압축시험에 사용된 시험장비는 Instron 社의 만능시험기로서 하중범위 1~10kN의 로드셀을 장착하였으며, 압축시험 속도는 0.01mm/s 이다. 시험에 사용된 시편 및 장비의 형상은 Fig. 2 에 도시하였다.

소재의 압축시험결과를 Fig. 3 에 도시하였다. 시편 높이 변화에 따른 시험결과 차이는 크지 않았으며, 연신률 1mm/mm 근방에서 하중이 급격히 감소되었다. 압축시험 결과를 기반으로 유한요소 해석에 적용될 $\sigma = 533.14 + 195.8\epsilon^{0.9}$ 의 응력-변형률 선도를 획득하였다.

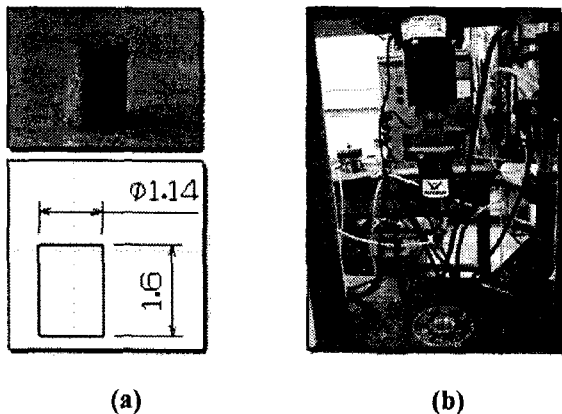


Fig. 2 Compression test setup: (a) experiment specimen; (b) testing machine

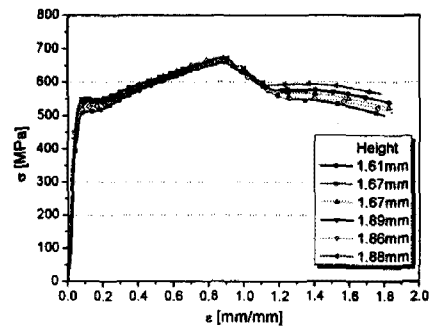


Fig. 3 Strain curves of STS of compression test

2.2 기계적 물성 특성 검증

마이크로 전조성형 해석의 경우 압축시험에서 획득한 연신률 이상의 응력-변형률 선도가 요구된다. 이를 위해 획득한 선도를 curve fitting 하여 해석에 적용한다.

본 절에서는 전조해석에 적용된 물성을 평가하기 위해 마이크로 경도측정을 이용해 검증을 실시하였다. 검증에 사용된 시험방법은 KS 규격에 명기된 비커스경도 시험법 KS B 0811[5]을 준수하여 진행하였으며, 검증순서는 다음과 같다.

1. 전조과정이 포함되지 않은 소재의 비커스 경도 측정을 실시한다.
2. 압축시험을 통해 획득한 물성데이터를 해석에 적용 후 규격에 명기된 시험법과 동일한 방법으로 마이크로 경도 조사해석을 실시한다.
3. 실험 및 해석에서 다이아몬드 압자가 압입된 자국을 측정하여 경도 값을 비교한다.

소재의 마이크로 경도실험 및 경도해석 결과를 Fig. 4, Table 1 각각 도시하였다. 해석결과 압축시험을 통해 획득한 신선소재의 기계적 물성특성이 타당함을 확인 할 수 있었으며, 전조성형해석 시 압축시험을 통해 획득한 물성 데이터를 적용하여 연구를 진행하였다.

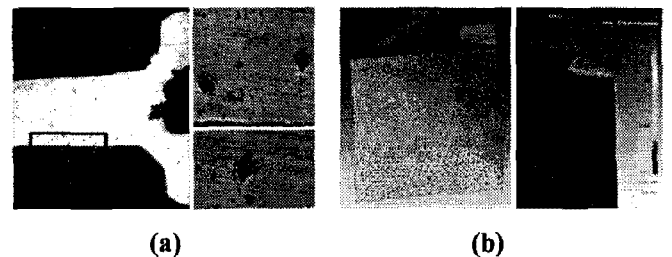


Fig. 4 Micro hardness test: (a) experiment result; (b) simulation result of 1/8model

Table 1 comparison of micro hardness test data between experiment and simulation

Specification	Micro Hardness Test	
	experiment	simulation
Value	165~170HV	166.68HV

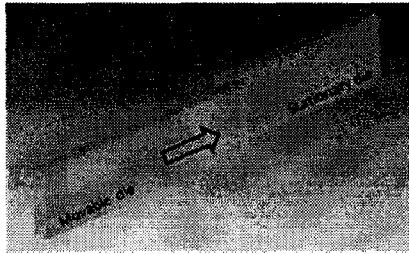


Fig. 5 Finite element model of thread rolling process

Table 2 Analysis conditions for the FE simulation for thread rolling process

Specification	Description
S/W	Deform-3D
Rolling speed	245mm/s
Shear friction factor(m)	0.9
Material	Compression Test Material
Number of mesh / size	70000 / 0.02mm
Analysis scope	Cold Thread rolling

3. 전조성형의 공정변수 정립

M1.4p0.3의 스크류의 전조해석에 앞서 전조성형 시 요구되는 주요공정변수 확립이 필요하다. 본 절에서 연구된 공정변수는 전조금형 축배치와 마찰계수에 따른 영향이다. 해석에 사용된 전조금형과 해석조건은 Fig. 5, Table 2에 각각 도시하였다.

3.1 전조금형 축배치

실제 현장에서 고정부와 동작부의 잘못된 금형 배치로 인해 불량 발생되며, 그 결과 소재는 불연속 치형을 갖게 된다. 불량해결을 위해 작업자가 고정부(동작부)금형을 임의로 이동시켜 T/O 을 실시한 후 문제를 해결한다. 불량을 야기 시키는 전조금형 배치에 관한 공정변수를 정량적으로 분석 및 해결하기 위해 유한요소해석을 실시하였다.

전조금형의 고정부와 동작부의 나사산을 축방향으로 동일하게 배치한 해석결과를 Fig. 6 도시하

였다. 해석 시 소재는 고정부 및 동작부 금형에 의해 치형이 생성되며, 각 치형은 반바퀴 회전시 서로 만나게 된다. 스크류의 피치가 0.3mm 이고, 소재가 반바퀴 회전할 경우 치형은 축방향으로 0.15mm 이동되며, 상대 치형과 0.15mm 의 간격이 발생되어 불량으로 야기된다. 해석결과를 적용하여 동작부 금형의 나사 산을 축방향으로 피치/2 mm 이동하여 재설계하였으며, 해석결과는 Fig. 7에 도시하였다.

3.2 마찰계수 영향분석

다음 공정변수는 마찰계수에 따른 영향력 분석이다. 마찰계수는 0.25, 0.5, 0.75, 1 의 4 가지 경우로 해석을 실시하였으며, 마찰계수에 따른 소재의 초기전조 형상을 Fig. 8에 도시하였다. 마찰계수가 0.25 인 경우 소재가 금형 내부로 진입과정에서 치형이 생성되기 전 슬립이 발생되어 소재의 Till-ting 현상으로 진행되었으며, 차후 제품불량으로 생산된다. 마찰계수가 0.5 의 경우 0.25 와 비교해 초기 진입은 안정적이나 치형 생성 시 소재가 틀어지는 현상이 발생하였다. 마찰계수가 0.75 이상인 경우 소재는 초기진입구간에서 안정적으로 자리를 잡게 되며, 그 결과 양호한 치형을 생성하게 된다. 유한요소 해석결과를 바탕으로 M1.4p0.3 전조해석 시 마찰계수는 0.75 이상으로 선정되어야 하며, 정확한 마찰계수 선정을 위해 연구논문을 [2~4] 참고하여 0.9로 선정하였다.

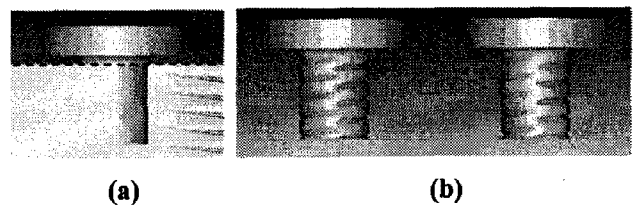


Fig. 6 Effects of dies position; (a) Trial dies position; (b) Deformed shape

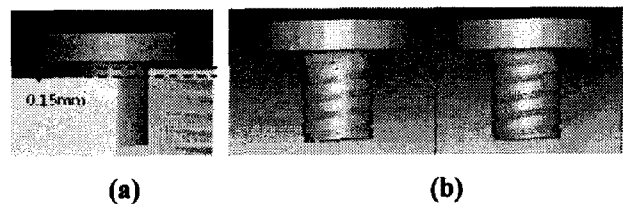


Fig. 7 Effects of dies position; (a) Modified dies position; (b) Deformed shape

m = 0.25				
m = 0.5				
m = 0.75				
m = 1				
Stroke	0.6mm	0.65mm	0.7mm	1mm

Fig. 8 Comparison of the FE simulation results at various friction factor (m)

4. 결론

마이크로 스크류의 전조성형 및 공정설계를 위해 유한요소해석을 진행하였다. 해석에 요구되는 소재 물성을 위해 압축시험을 실시하였으며, 평가된 물성검증을 위해 유한요소해석을 실시하였다. 획득한 물성을 기반으로 공정변수에 관한 해석을 실시하였으며, 연구된 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 마이크로 스크류 M1.4p0.3 소재의 유한요소 해석을 적용하기 위한 원소재의 압축시험을 실시하여 응력-변형률 곡선을 획득하였다.

(2) 획득한 소재물성의 검증을 위해 마이크로 경도 측정 및 해석을 수행하였으며, 그 결과 압축 시험을 통해 획득한 물성을 기반으로 유한요소해석을 진행하였다.

(3) 전조성형 시 요구되는 주요 공정변수에 관해 해석을 실시하였으며, 원활한 치형 생성을 위해 동작부 금형을 축방향으로 p/2 mm 이동하여 설계하였다.

(4) 마찰계수 분석을 위해 유한요소해석을 실시하였으며, 마찰계수(m)는 0.9로 선정하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부 주관 전략기술개발사업 "마이크로 기능성 초정밀 핵심요소부품 제조기반 기술개발"의 결과로써 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] J. P. Domblesky, F. Feng, 2002, A parametric study of process parameters in external thread rolling, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 121, pp. 341-349
- [2] Y. C. Kao, H. Y. Cheng, C. H. She, 2007, Development of an integrated CAD/CAE/CAM system on taper-tipped thread-rolling die-plates, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 177 pp. 98-103
- [3] Z. Pater, A. Gontarz, W. Weronki, 2004, New method of thread rolling, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 153-154, pp. 722-728
- [4] A. A. Kamounch, J. Ni, D. Stephenson, R. Vriesen, 2007, Investigation of work hardening of flat-rolled helical-involute gears through grain-flow analysis, FE-modeling, and strain signature, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 47 pp. 1285-1297
- [5] KS B 0811, Metallic materials - Vickers hardness test-Part1