

초음파 나노표면 개질 처리를 통한 전조 볼스크류의 성능향상 Improvement Performance of Rolling Ball Screw by Ultrasonic Nano-Crystal Surface Modification (UNSM)

*도미나가 야스토시¹, #편영식¹, 장웅²

*Tominaga Yasutoshi¹, #Y.S. Pyun(pyoun@sunmoon.ac.kr)¹, U.Chang²

¹선문대학교 기계공학과, ²티아이씨(주)

Key words : rolling ball screw, ultrasonic nano-crystal surface modification,

1. 서론

볼스크류는 높은 기계효율 때문에 공작기계 등 많은 기계의 이송장치에 사용되고 있는 기계부품이다. 현재 볼스크류는 보다 소형경량화하면서도 고속으로 장시간의 운전이 요구되어 있다.[1] 이런 요구사항을 만족하기 위해서는 볼스크류에 높은 강성을 주는 것이 적당할 것이다. 국내개발 특허인 UNSM기술을 적용시킨다면 강성이 향상과 더불어 표면품질의 향상으로 인한 기동성의 향상도 기대된다.

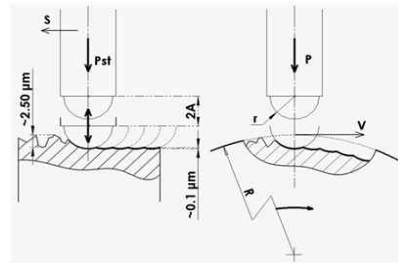
본 연구에서는 볼스크류에 UNSM기술 적용을 통한 성능 향상을 검토하기 위하여 시편과 실물을 이용한 UNSM처리 전후의 비교시험을 실시하였다.

2. 초음파나노표면개질처리 (Ultrasonic Nano-crystal Surface Modification, UNSM)

초음파나노표면개질처리는 초음파 진동에너지를 응용하여 아주 큰 정적 및 동적하중이 부가된 볼로 1초에 20,000번 이상의 타격(1,000~10,000회/mm² 정도)을 금속 표면에 가하여, 표면층의 조직은 나노결정 조직으로 개질됨과 동시에 아주 크고 깊은 압축잔류응력 등을 부가하는 국내개발 특허 기술이다.

볼스크류에 UNSM처리를 적용하면 강성이 향상되어 내구수명이 증가될 것이다. 또한 표면거칠기 향상으로 작동성에 향상효과도 기대된다.

UNSM의 평면과 원형상의 기본적인 가공시스템은 Fig.1과 같고, UNSM기술을 적용하여 얻어진 기계적 물성치 향상과 기대효과는 Table1과 같다.[2]



$$P_t = P_{st} + P_{dy}, \quad P_t : \text{total contact load}$$

$$P_{st} : \text{static load}, P_{dy} : \text{dynamic load} (=P \sin 2\pi ft)$$

Fig. 1 Mechanism of UNSM

Table 1 The effects of UNSM technology

UNSM 가공으로 얻게되는 기계적 특성	기대 효과
크고 깊은 압축잔류응력 (1000MPa 이상, 깊이 2000 μm 이상)	1) LCF/HCF/VHCF (Low/High/Very High Cycle Fatigue) 강도향상: 2) 구름접촉피로강도 향상 3) SCC (Stress Corrosion Cracking) 강도향상
표면거칠기 향상 및 미세홀 (Micro dimples, 면적: ~10 μm ² , 깊이: sub micron, 간격: 수 μm)	1) 마찰계수 저감 2) 마모율 저감
표면경도향상 (깊이 1500 μm 까지)	1) 마모율 저감 2) LCF/HCF 강도향상
나노결정구조 (입자크기 50-200 nm 깊이 100 μm)	1) 인장강도 및 경도향상 2) 피로강도 향상 3) 내 마모율 향상

3. 시편비교시험

먼저 실제 제품과 같은 소재(SCM420)로 시편을 준비하여 소재에 대한 UNSM기술적용의 효과를 검토했다. 질화되는 기존 볼스크류에 대한 UNSM 기술적용의 효과를 확인하기 위하여 3종류 시편 (질화처리된 시편, 질화 후 UNSM, UNSM 후 질화)에 대하여 마모 및 RCF시험을 수행하였다.

Table2 Chemical composition of SCM420

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
0.18	0.15	0.60	0.03	0.03	0.25	0.90	0.15
~	~	~	이하	이하	이하	~	~
0.23	0.35	0.90				1.20	0.25

Table3 Mechanical properties of SCM420

Young's modulus [MPa]	Tensils strength [MPa]	Elongation [%]	Reduction in area [%]
-	930	14	40

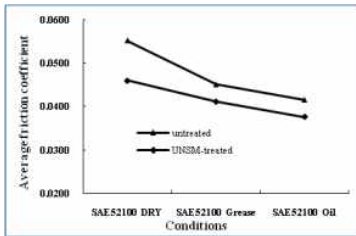
Table4 RCF test condition[3]

contact stress	4.6 [GPa]
rev	1,500 [rpm]
test method	Ball-on-Disk (3point contact)

Table5 Result of RCF test[3]

Samples	Cycles to failure [cycle]	Note
untreated	4,641,000	Failure
UNSM treated	10,119,000	Failure

Fig.2 Average coefficient of friction of SAE52100 steel in dry, grease, and oil lubricated conditions



소재에 대한 화학적, 기계적 특성과 시험조건을 Table2~4 에 나타내었다.

해당 시험의 결과는 현재 진행중이므로 향후 시험 결과를 정리하여 기재할 예정이다. 유사한 시험조건으로 수행된 Table5, Fig.2의 결과를 참조하여 이 결과와 같이 UNSM기술에 적용이 내구수명향상에 큰 효과가 있다고 판단된다.

4. 실물비교시험

현재 실제제품에 UNSM처리를 적용하여 적용되지 않은 제품과 성능비교시험을 진행하고 있다. 볼스크류 내구수명시험기는 Fig.와 같다. 시험은 볼베어링 수명 계산공식(1)을 이용하여 정격하중의 3배 하중을 적용시키고 약10일 동안 60rpm으로 작동한 다음의 나사표면상태를 비교하는 방법으로 진행하고있다.

$$Lh = \left(\frac{Ca}{P \times f_w} \right)^3 \times \frac{10^6}{60n} \quad (1)$$

Lh : 계산정격수명 [hr]
 Ca : 볼나사기본동정격하중 [kN]
 f_w : 하중계수
 P : 볼나사에 걸리는 하중 [kN]
 n : 회전속도 [rpm]



Fig.3 Ball screw life test machine

5. 결론

볼스크류의 내구수명 향상을 위한 UNSM기술 적용의 효과를 검토하기 위해서 볼스크류 소재의 시험편을 이용하여 마모/RCF에 대한 비교시험을 수행하고 있다. 시험을 통해서 UNSM기술을 적용한 시험편은 보다 내마모성 및 피로수명이 향상된 것으로 판단된다.

또한 현재 실제 제품에 대하여 UNSM기술을 적용시키고 내구수명비교시험을 진행하고 있다.

시험 시험 결과를 바탕으로 UNSM기술을 적용한다면 볼스크류의 내구수명 향상에 큰 효과가 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1.Masahiro UEDA, Hirokazu SHIMODA, "Influence of Ball Behavior in Ball Screws on Lost Motion (1st Report)—Experimental Device and Measurements of Ball Rolling Behavior and Lost Motion—", Journal of the Japan Society for Precision Engineering, Vol. 76, No. 12, 1371-1376, 2010
- 2.편영식, 외, "초음파 나노표면개질기술의 특성과 활용방안 연구", 대한기계학회논문집 A권 33-3, pp190-195, 2009
- 3.김준형, 편영식, 카유모브라빌, "Micro cold forging 기술 적용한 베어링강의 피로층 복원", 대한기계학회 에너지 및 동력공학부문 춘계학술대회 논문집, pp21-25, 2012
- 4.J.H.Kim, et al, "Mechanical Characteristics of Nano-Structured SAE52100 Steel", Journal of Nanoscience and Nanotechnology, Vol.X,2010