

SUS304 소재의 UNSM(초음파 나노 표면 개질)처리 전후 Dry, Grease 윤활, Oil 윤활 상태에서 마찰특성에 대한 실험적 연구

SUS304 stainless steel friction characteristics in Dry, Grease and Oil-lubricated conditions before and after Ultrasonic Nano-crystal Surface Modification

*최갑수¹, #편영식², 박정현², 아mano브아외즈한¹, 김준형¹
 *G. S. Choi¹, #Y. S. Pyun², J. H. Park², Auezhan Amanov¹, J. H. Kim¹
¹선문 대학교 일반 대학원, ²선문 대학교 기계공학부

Key words : Friction test, Pin-on-Disk test, Friction coefficients

1. 서론

최근 들어 CO₂ 배출 및 지구 온난화를 억제하기 위하여 기계분야의 핵심기술개발 목표 중의 하나는 마찰손실을 줄이는 기술이다. 특히 자동차, 철도차량, 항공 등 운송기기 분야에서는 더욱 마찰계수를 줄이는 연구가 각광을 받고 있다.⁽¹⁾

이 연구는 우리나라에서 운행하고 있는 고속 철도 차량인 KTX 토션바 소음기 내부 저널 Bearing의 축에서 발생하는 부식 문제를 해결하기 위한 응용 연구이다. 부식성이 우수한 SUS304 링을 축에 끼워서 부식문제를 원천적으로 해결하고자 한다. 그러나 마찰특성이 비교적 좋지 않은 SUS304 재료가 기존의 스프링 강 보다 우수하다는 것을 확인하여야 한다.

마찰계수는 상대 운동하는 부품의 재질과 표면층의 특성에 따라서 영향을 받는다. 표면층의 특성을 개질하여 마찰특성을 좋게 하는 연구는 국내외적으로 새롭게 진행되는 연구이다. 본 연구에서는 국내개발 특허기술인 초음파나노 표면개질(UNSM)기술을 이용하여 마찰계수를 최소화 시키고자 한다.

2. 초음파 나노(UNSM) 표면 개질 기술

초음파 나노 표면 개질 기술(ultrasonic nano-crystal surface modification)은 초음파 진동에너지를 응용하여 아주 큰 정적 및 동적 하중이 부가된 볼로써 1 초에 20,000 번 이상의 타격(1,000~10,000 회/mm²)을 금속 표면에 주어 SPD(Severe Plastic Deformation)를 발생 시키고 이로 인해 표층부의 조직을 나노결정조직으로 개질시킨다. 동시에 아주 크고 깊은 압축잔류응력 형성, 표면경도향상, 표면거칠기 개선 및 마이크로 딥플의 표면층을 만드는 기술이다. 이 장치는 공작기계(선반, 머시닝센터)에 부착하여 환형물, 평면형상 및 자유곡면 형상을 용이하게 가공 할 수 있다.⁽²⁾

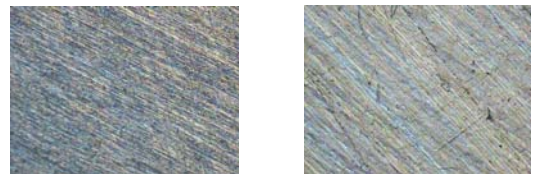
또한 본 기술은 크롬도금을 대체할 수 있는 무공해에 가까운 기술이다.

3. 시험편 및 실험 방법

3.1 시험편

본 연구에서 사용된 시험편은 SUS304(STS304)이다.

UNSM 처리 전후의 표면 거칠기와 표면경도는 아래 Table 1과 같이 측정 하였다. 또한 표면 층의 형상이 Fig. 1과 같이 SUS304 소재의 조직사진으로 Polished 에 비하여 UNSM 처리 후 표면층 조직이 소성 변형 등 표면층이 마이크로 딥플 조직으로 변화하였다. 또한 Table 와 같이 표면 거칠기 및 표면경도가 10% 정도 SUS304 에서 향상 되었다.



a). Polished (b) UNSM 처리 후

Fig 1 UNSM 처리 전후의 표면형상

Table. 1 SUS304 시험편의 표면 거칠기 및 경도

Type	표면 거칠기(μm)	표면 경도 (HRC)
Polished	0.12~0.16	17~18.4
UNSM	0.11~0.15	19

3.2 마모 시험기 및 실험 방법

본 연구에서 사용된 마모 시험기는 자체 개발한 Fig. 2와 같은 시험기로서 ASTM G99 에 따른 Pin-on-Disk 시험, Thrust & Taper Roller Bearings, Seal & Packing 시험 등을 동일 시험기에서 수행할 수 있는 다목적의 마찰 및 마모 시험기이다. 이 시험기에 대한 검증은 기존 표준시험기를 사용하고 있는 KOLAS 인증기관과 대학연구기관의 시험기와 비교시험을 통해 수행되었다⁽³⁾

시험은 Dry, Grease 윤활과 Oil 윤활의 3 종류 수행하였다. 시험조건은 세라믹 Ball 직경 12.7 mm, 회전 수 100rpm, 하중 5kgf 이다.



Fig.2 다목적 마찰 및 마모 시험기

시험편의 윤활 상태에 따라서 6 회 시험을 하였으며, 그 결과를 평균으로 하여 마찰력을 측정하였다. 시험기의 data 는 1sec 에 10 개씩을 측정하여 2min 동안 Test 진행하였다..

4. SUS304 실험결과 및 고찰

4.2 SUS304 Dry 상태 실험에 대한 결과 및 고찰

Fig. 3 은 SUS304 Dry 상태에서 Polished 와 UNSM 처리에 따른 마찰계수를 시간에 따라 나타내고 있다.

SUS304 Dry 실험시 평균 30sec 이내로 소음과 진동이 발생하였고, 마찰계수 값이 일정한 상태로 유지 하면서 점차 증가 하였다. 이후 Dry 상태와 UNSM 상태 값의 폭이 점차 줄어드는 경향을 확인하였다. 이는 표면층에 형성된 마이크로 딥플 조직이 마모되어 그 효과가 없어지기 때문이다.

Table. 2 에서는 측정한 마찰계수 값을 평균과 Start 및 Normal 상태를 값으로 나타내고 있다.

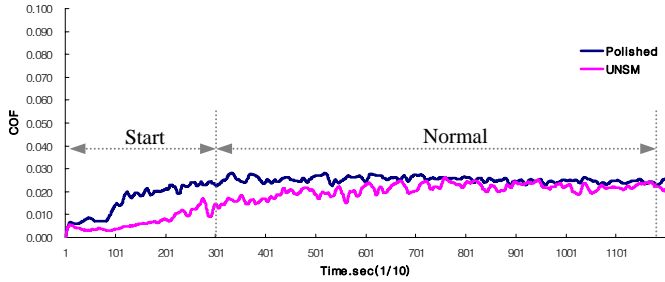


Fig. 3 SUS 304 Dry 상태에서 시간에 따른 Polished 및 UNSM 마찰계수 비교 그래프

Table. 2 SUS304 Dry 상태 Polished 및 UNSM 처리

Type	Average COF	Start Peak of COF	Normal Peak of COF
Polished	0.023	0.025	0.028
UNSM	0.017	0.017	0.026

4.3 SUS304 Grease 상태 실험에 대한 결과 및 고찰

Fig. 4 은 SUS304 Grease 상태에서 Polished 와 UNSM 처리 에 따른 마찰계수를 시간에 따라 나타내고 있다.

SUS304 Grease 실험에서는 위 Dry 상태와 비교하여 마찰력이 Polished 에서는 평균 22%, UNSM 에서 19% 우수한 결과를 확인 할 수 있었다. 이러한 경향은 Polished 에서 Grease 로 인한 내 마모성 효과와 UNSM 처리 후 표면 층에 마이크로 덩플 구조 형성으로 마찰계수가 낮아지는 것으로 사료 된다.

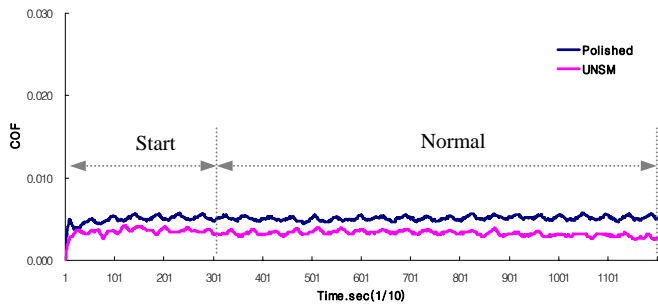


Fig. 4 SUS 304 Grease 상태에서 시간에 따른 Polished 및 UNSM 마찰계수 비교

Table. 3 SUS304 Grease 상태 Polished 및 UNSM 처리

Type	Average COF	Start Peak of COF	Normal Peak of COF
Polished	0.005	0.006	0.006
UNSM	0.003	0.004	0.004

4.4 SUS304 Oil 윤활 상태 실험에 대한 결과 및 고찰

Oil 윤활시험은 기계유를 사용하여 실험하였으며 그래프는 Fig.5, Table.4 와 같이 Polished 와 UNSM 처리 후 실험한 결과를 시간에 따라서 나타내었다.

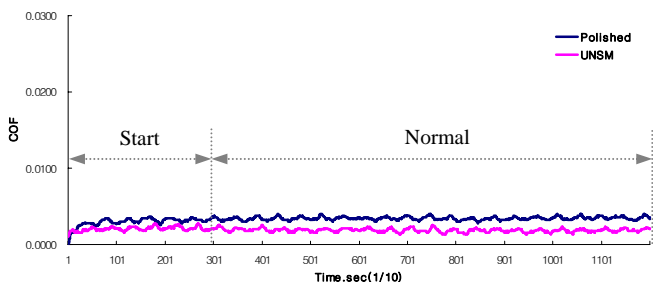


Fig. 5 SUS 304 Oil 윤활 상태에서 시간에 따른 Polished 및 UNSM 마찰계수 비교 그래프

SUS304 Oil 윤활 Test 실험에서는 Grease 상태와 비교하여 안정화된 그래프를 확인할 수 있었다. 또한 기존 Dry, Grease 상태보다 Oil 윤활이 그래프(Fig.5) 변화폭은 오히려 작아지고 이로 인하여 진동 및 소음 저지 효과까지 대처하였다.

따라서 Oil 윤활 상태에서는 시험편의 표면에 내 마모 효과와 UNSM 처리 후 표면 경도, 거칠기 개선, 마이크로 덩플 구조 형성과 Oil Pockets 효과를 나타내 마찰 계수에 영향을 미치는 주된 인자로 판단된다.

Table. 4 SUS304 Oil 윤활 상태 Polished 및 UNSM 처리

Type	Average COF	Start Peak of COF	Normal Peak of COF
Polished	0.003	0.004	0.004
UNSM	0.002	0.003	0.003

4. 결론

본 연구에서는 KTX 토션바 소음기 내부 저널 Bearing 의 축에 발생하는 부식 문제를 해결하기 위하여 SUS304 시험편의 Dry, Grease, Oil 윤활 상태에 대한 마찰 계수 결과를 분석하였다. 또한 국내 신 기술인 초음파 나노 표면 개질(UNSM)을 통하여 본 부식 문제를 해결하고자 Polished 와 UNSM 처리 상태를 비교 분석하였다. 이때 환경 조건에 따른 마찰계수의 변화를 고찰하였으며, 다음과 같이 그래프 Fig. 6 에 그 결과를 정리하였다.

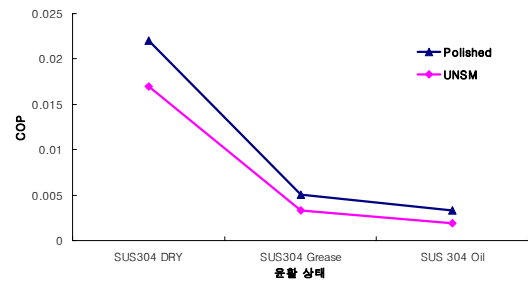


Fig. 6 SUS304 재료의 윤활 환경에 따른 마찰계수의 변화

Fig.6 은 동일한 조건의 하중(N)과 회전 수(RPM)에 따른 마찰력의 변화를 나타낸 것이다. 시험결과 SUS304 에서는 윤활 조건에 따라서 Dry, Grease, Oil 윤활 순으로 마찰계수가 감소 하는 것을 알 수 있었다.

위 실험결과 일반적으로 Polished 와 UNSM 처리 상태에 따라서 마찰계수 값이 평균 32% 가량 차이가 발생하였다. 이는 UNSM 처리로 인하여 생성된 마이크로 덩플 조직에 의한 것이 주된 원인이라고 판단된다.

따라서 KTX 토션바 소음기 내부 저널 Bearing 의 축에 발생하는 부식 문제를 UNSM 처리한 SUS304 링을 추가함으로써 해결하는 것이 가능하다는 판단을 하였다. 물론 기존 스프링강과 마찰특성을 비교하여도 차이가 없거나 우수하다는 것을 확인하기 위해 진행하고 있는 시험결과를 확인하는 절차는 남아있다

참고문헌

1. Nachman, G., 1999, "Shot Peening-Past, Present, and Future," Proc. 7th Int. Conf. on Shot Peening, pp. 1~4... (1)
2. 편영식, 박정현, 조인호, 김창식, 서창민, "초음파 나노 표면 개질 기술의 특성과 활용방안 연구" .. (2)
3. 최갑수, 편영식, 박정현, 한수곤, "다목적 마찰 및 마모 시험기 개발" 한국공작기계 학회지 .. (3)