

SUS630 소재의 UNSM(초음파 나노 표면 개질)처리 전후 Dry, Grease 윤활, Oil 윤활 상태에서 마찰특성에 대한 실험적 연구

SUS630 stainless steel friction characteristics in Dry, Grease and Oil-lubricated conditions before and after Ultrasonic Nano Crystal Surface Modification

*최갑수¹, #편영식², 박정현², 아마노브아외즈한¹, 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, Friction coefficients, SUS630, UNSM(Ultrasonic Nano Crystal Surface Modification)

1. 서론

최근 들어 CO₂ 배출 및 지구 온난화를 억제하기 위하여 기계분야의 핵심기술개발 목표 중의 하나는 마찰손실을 줄이는 기술이다.⁽¹⁾

마찰계수는 상대 운동하는 부품의 재질과 표면층 특성에 따라서 영향을 받는다. 표면층의 특성을 개질하여 마찰저항을 줄이는 연구는 국내외적으로 새롭게 진행되는 연구 분야이다. 초음파나노표면개질(UNSM) 기술은 표면층의 조직을 Micro Dimples 로 만들어 마찰계수를 줄이는 국내개발 특허기술이다.

본 논문은 우리나라 섬유분야에서 사용되고 있는 방사 Nozzle 소재인 SUS630 에 UNSM 기술을 적용하여 마찰저항을 줄여 Nozzle 의 수명을 연장하려는 기술개발에 대한 내용 중 일부결과를 정리한 것이다

2. 초음파 나노(UNSM) 표면 개질 기술

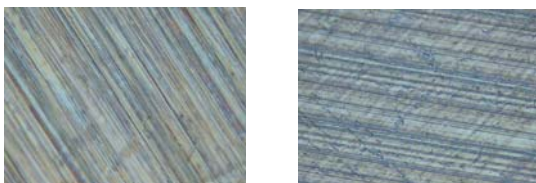
초음파 나노 표면 개질 기술(ultrasonic nano-crystal surface modification)은 초음파 진동에너지를 응용하여 아주 큰 정적 및 동적 하중이 부가된 볼로써 1 초에 20,000 번 이상의 타격(1,000~10,000 회/mm²)을 금속 표면에 주어 SPD(Severe Plastic Deformation)를 발생 시키고 이로 인해 표층부의 조직을 나노결정조직으로 개질시킨다. 동시에 아주 크고 깊은 압축잔류응력 형성, 표면경도향상, 표면거칠기 개선 및 마이크로 딥플의 표면층을 만드는 기술이다. 이 장치는 공작기계(선반,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

UNSM 처리 전후 SUS630(STS630)의 표면 거칠기와 표면경도는 Table.1 에 정리하였다. 또한 표면 층의 형상이 Fig. 1 과 같이 Polish 된 시편에 비하여 UNSM 처리 후에 표면층이 마이크로 딥플 조직으로 변화하였다. 또한 표 1 과 같이 표면 거칠기 25% 및 표면경도 10% 정도 향상 되었다.



(a). Polished (b) UNSM 처리 후
 Fig 1 UNSM 처리 전후의 표면 형상

Table. 1 SUS630 시험편의 표면 거칠기 및 경도

Type	표면 거칠기(μm)	표면 경도 (HRC)
Polished	0.19	40~42
UNSM	0.15~0.16	44~45

3.2 마모 시험기 및 실험 방법

본 연구에서 사용된 마모 시험기는 자체 개발한 Fig. 2 와 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⁾



Fig.2 다목적 마찰 및 마모 시험기

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

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. SUS630 실험결과 및 고찰

4.2 SUS630 Dry 상태 실험에 대한 결과 및 고찰

Fig. 3 은 SUS630 Dry 상태에서 Polish 시편과 UNSM 처리 시편에 따른 마찰계수를 시간에 따라 나타내고 있다.

SUS630 실험에서는 시간이 경과함에 따라서 마찰계수의 값은 Polish 시편과 UNSM 처리 후 초기 동일한 경향을 유지 하다가 20sec 이후 일정한 격차를 가지고 증가하는 것을 확인하였다. 이는 SUS630 Dry 실험 시 평균 20sec 이내로 소음과 진동이 발생하였고, 이로 인하여 표면 층에 형성된 마이크로 딥플 조직이 마모되어 그 효과가 없어지기 때문이다.

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

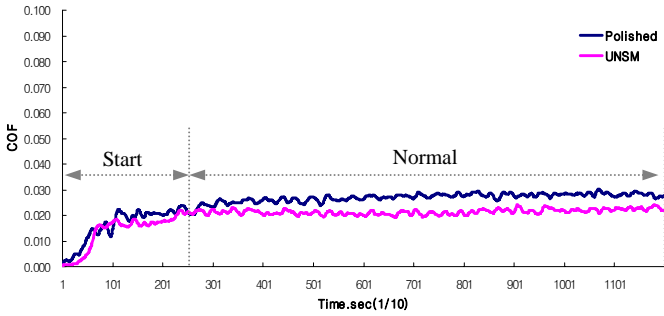


Fig. 3 SUS 630 Dry 상태에서 시간에 따른 Polish 시편 및 UNSM 시편의 마찰계수 비교 그래프

Table. 2 SUS630 Dry 상태 Polished 및 UNSM 처리

Type	Average COF	Start Peak of COF	Normal Peak of COF
Polished	0.025	0.025	0.030
UNSM	0.020	0.022	0.024

4.3 SUS630 Grease 상태 실험에 대한 결과 및 고찰

Fig. 4 은 SUS630 Grease 상태에서 Polished 와 UNSM 처리에 따른 마찰계수를 시간에 따라 나타내고 있다.

SUS630 Grease 실험에서는 위 Dry 실험과 비교하여 마찰력이 Polished 에서는 평균 26%, UNSM 에서 17% 우수한 결과를 확인 할 수 있었다. 또한 초기 마찰계수 값이 0 에서 평균값 0.006 까지 빠르게 안정화 되었다. 이러한 경향은 Polished 에서 Grease 특성인 내 마모성 효과와 UNSM 처리후 표면 거칠기, 표면 경도와 마이크로 덩플 구조의 형성이 주요 원인으로 사료 된다.

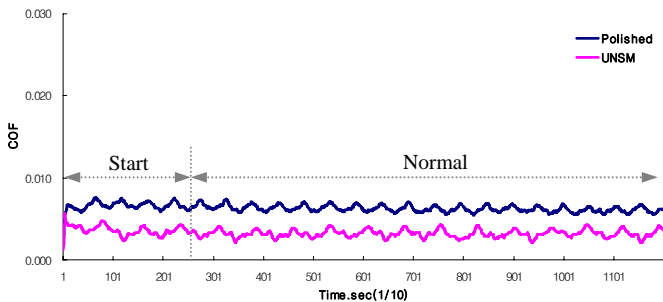


Fig. 4 SUS 630 Grease 상태에서 시간에 따른 Polish 및 UNSM 마찰계수 비교

Table. 3 SUS630 Grease 상태 Polished 및 UNSM 처리

Type	Average COF	Start Peak of COF	Normal Peak of COF
Polished	0.006	0.008	0.007
UNSM	0.003	0.006	0.004

4.4 SUS630 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 나타내었다.

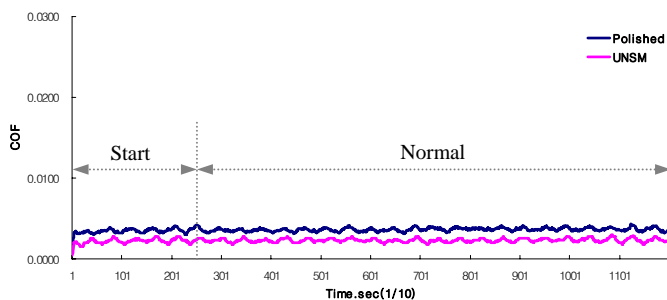


Fig. 5 SUS 630 Oil 윤활 상태에서 시간에 따른 Polish 및 UNSM 마찰계수 비교 그래프

SUS630 Oil 윤활 Test 실험에서는 Grease 상태와 비교하여 매우 안정화된 상태를 확인할 수 있었다. 또한 기존 Dry, Grease 상태보다 Oil 윤활이 그래프(Fig.5) 변화폭은 오히려 작아지고 이로 인하여 진동 및 소음 저지 효과까지 대처 하였다.

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 SUS630 Oil 윤활 상태 Polished 및 UNSM 처리

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

4. 결론

본 연구에서는 섬유분야에서 사용되는 Nozzle 의 막힘 문제를 해결하기 위하여 SUS630 시험편의 Dry, Grease, Oil 윤활 상태에 대한 마찰 계수 결과를 분석하였다. 또한 국내 신 기술인 초음파 나노 표면 개질(UNSM)을 통하여 Nozzle 막힘 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.

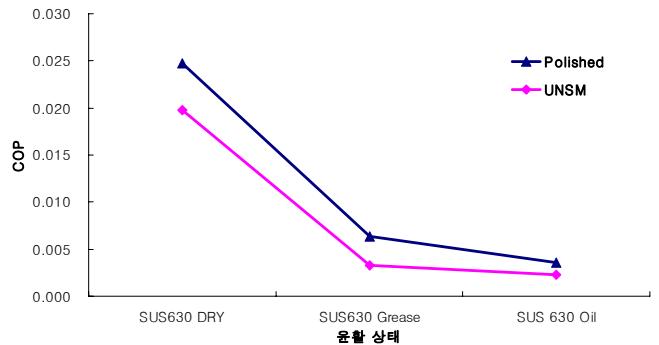


Fig. 6 SUS630 재질의 윤활 환경에 따른 마찰계수의 변화

Fig.6 은 동일한 조건의 하중(N)과 회전 수(RPM)에 따른 마찰력의 변화를 나타낸 것이다. 시험결과 SUS630 에서는 윤활 조건에 따라서 Dry, Grease, Oil 윤활 순으로 마찰계수가 감소 하는 것을 알 수 있었다.

위 실험결과 SUS630 에서는 일반적으로 Polished 와 UNSM 처리 상태에 따라서 마찰계수 값이 평균 26% 가량 차이가 발생하였다. 이는 UNSM 처리로 인하여 생성된 마이크로 덩플 조직에 의한 표면 거칠기와 표면 경도의 향상이 주된 원인이라고 판단된다.

따라서 섬유에 사용되는 노즐의 막힘 문제를 UNSM 처리를 하여 마찰계수를 줄여 막힘 문제 해결이 가능하다고 판단 하였다. 물론 기존 노즐의 마찰계수의 마모 특성을 비교하여도 차이가 없거나 우수하다는 것을 확인하기 위한 실험 결과를 검증하는 절차는 남아 있다.

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, 한수근, "다목적 마찰 및 마모 시험기 개발" 한국공작기계 학회지 .. (3)