SUS 304과 SUS 630 소재의 UNSM(초음파 나노 표면 개질) 처리 전후 Dry, Grease윤활, Oil윤활 상태하에서 마찰특성 및 Dry 상태하에서 마모특성

Friction characteristics of SUS 304 and SUS 630 stainless steel in Dry, Grease-, and Oil-lubricated conditions and wear property in dry condition before and after Ultrasonic Nano-crystal Surface Modification

*김준형[1], #편영식[2], 박정현[2], 최갑수[1], 아마노브아외즈한[1]
*J. H. Kim[1], #Y. S. Pyoun[2] , J. H. Park[2] , G. S. Choi[1] , Auezhan Amanov[1]
[1] 선문대학교 일반대학원, [2] 선문대학교 기계공학부

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

1. 서론

최근 들어 CO_2 배출 및 지구 온난화를 억제하기 위하여 기계분야의 핵심기술개발 목표중의 하나는 마찰손실을 줄이는 기술이다.(1) 마찰손실을 줄이기 위한 가장 근본적인 방법은 상대적으로 작용하는 소재의 마찰계수를 작게 하는 일이다.

본 연구에서는 마찰계수를 작게 하는 방법 중 하나인 표면층의 특성을 개질하여 마찰계수의 변화를 통해 SUS304 및 SUS630의 윤활 상태 및 초음파나노표면개질(UNSM) 처리 전후에 따른 마찰 특성을 보고자 한다. 아울러 국내개발 특허기술인 초음파나노표면개질 기술을 이용하여 마찰계수를 최소화시키고자 한다.

2. 초음파 나노 표면 개질(UNSM) 기술

초음파 나노 표면 개질(Ultrasonic Nano-crystal Surface Modification) 기술은 초음파 진동에너지를 응용하여 아주 큰 정적 및 동적하중이 부가된 볼로써 1초에 20,000번 이상의 타격(1,000～10,000회/㎟ 정도)을 금속 표면에 주어, SPD(Severe Plastic Deformation)를 발생시키고, 이로 인해 표층부의 조직을 나노결정 조직으로 개질시킨다. 동시에 아주 크고 깊은 압축잔류응력을 부가하고 표면 경도를 향상시키며 표면 거칠기의 개선 및 표면층의 마이크로 딤플을 생성시키는 기술이다. UNSM 장치는 공작기계(선반, 머시닝센터)에 부착하여 환형물, 평면형상 및 자유곡면 형상물을 가공할 수 있다.(2)

또한 본 기술은 크롬도금을 대체할 수 있는 무공해에 가까운 기술이다.

3. 시험편 및 실험 방법

3.1 시험편

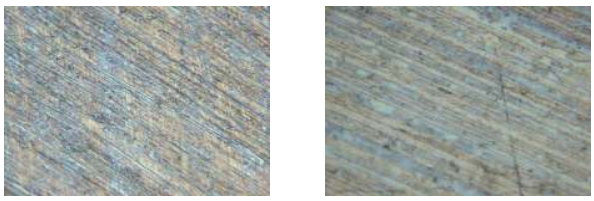
본 연구에서 사용된 시험편은 SUS304(STS304)과 SUS630(STS630)이다. UNSM 처리 전후의 표면 거칠기와 표면 경도는 아래 Table. 1과 같이 측정되었다. 또한 표면층의 형상은 Fig. 1 및 Fig. 2과 같이 마이크로 딤플 조직으로 변화하였다.

Table. 1 SUS304과 SUS630 시험편의 표면 거칠기 및 경도

Type	표면 거칠기 [㎛]	표면 경도 [HRC]
SUS304 Polished	0.12～0.16	17～18.4
SUS304 UNSM	0.11～0.15	19
SUS630 Polished	0.19	40～42
SUS630 UNSM	0.15～0.16	44～45

(a) Polished (b) UNSM 처리 후

Fig. 1 SUS304 UNSM 처리 전후의 표면 형상



(a) Polished (b) UNSM 처리 후

Fig. 2 SUS304 UNSM 처리 전후의 표면 확대 형상

3.2 마모 시험기 및 실험 방법

본 연구에서 사용된 마모 시험기는 자체 개발한 Fig. 3의 시험기로서 ASTM G99에 따른 Pin-on-Disk 시험, Thrust & Taper rolling bearing, Seal & Packing 시험 등을 동일 시험기에서 수행할 수 있는 다목적의 마찰 및 마모 시험기이다. 이 시험기에 대한 검증은 기존 표준 시험기를 사용하고 있는 KOLAS 인증기관과 대학연구기관의 시험기와 비교시험을 통해 수행되었다.(3)

시험편은 Polished 및 UNSM 처리 시편으로 구분하여 테스트하였으며, 다목적 시험기 조건은 Ball 회전 반경 지름 23mm, 회전수 100rpm, 하중 5kgf로 테스트하였다.

Fig. 3 다목적 마찰 및 마모 시험기

시험편의 윤활 상태에 따라서 6회 시험(총 72회)을 하였으며, 그 결과를 평균으로 하여 마찰력을 측정하였다. 시험기의 데이터는 1초당 10개씩을 설정하여 2분간 테스트를 진행하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 SUS304 실험 결과 및 고찰

SUS304 소재를 이용한 마찰 시험에서는 Polished과 UNSM 처리 후에 대한 윤활 상태별 실험 결과를 그래프 Fig. 4에 나타내었다.

UNSM 처리된 SUS304 시편의 Dry 실험에서는 시간이 경과함에 따라서 마찰계수가 증가하는 것을 확인하였다. 이것은 표면층에 형성되었던 마이크로 딤플 조직의 마모로 인한 딤플 효과의 감소 때문이다. Grease윤활 실험에서는 Dry 실험에서 얻은 마찰계수 값과 비교하여 Polished과 UNSM 처리 후 모두 약 20% 우수한 마찰계수의 값을 확인하였다. Oil윤활 실험에서는 Grease 윤활 상태와 비교하여 마찰계수 값은 유사함을 나타내었지만, Polished과 UNSM 처리 후에 따른 마찰계수 값은 일정한 격차를 유지하였다. 시간이 흐르면서 Grease 및 Oil과 같은 윤활제의 기능을 통해 마찰은 감소되는 동시에 안정화 되었고, 더욱이

마이크로 딤플과 윤활제의 상호 작용으로 인한 유막 형성 등으로 인해 Dry, Grease윤활, Oil윤활 모두에서 UNSM 처리 후가 Polished 보다 마찰계수가 낮음을 확인할 수 있었다.

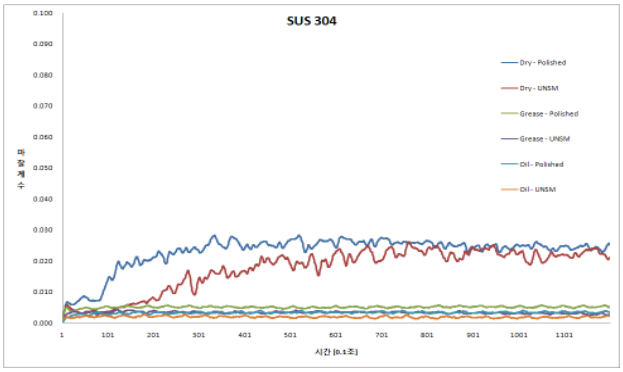


Fig. 4 SUS304의 시간에 따른 Polished 및 UNSM 마찰계수 비교 그래프

4.2 SUS630 실험 결과 및 고찰

SUS630 소재를 이용한 마찰 시험에서는 Polished과 UNSM 처리 후에 대한 윤활 상태별 실험 결과를 그래프 Fig. 5에 나타내었다.

UNSM 처리된 SUS630 시편의 Dry 실험에서는 시간이 경과함에 따라서 마찰계수의 값은 Polished과 UNSM 처리 후 초기 동일한 경향을 나타낸 후 일정한 격차를 가지고 증가하는 것을 확인하였다. 이것 역시 SUS304과 같이 표면층에 형성되었던 마이크로 딤플 조직의 마모로 인한 딤플 효과의 감소 때문이다. Grease윤활 실험에서는 Dry 실험에서 얻은 마찰계수 값과 비교하여 Polished과 UNSM 처리 후 모두 약 23% 우수한 마찰계수의 값을 확인하였다. Oil윤활 실험에서는 Grease윤활 상태와 비교하여 마찰계수 값은 유사함을 나타내었지만, Polished과 UNSM 처리 후에 따른 마찰계수 값은 일정한 격차를 유지하였다. 시간이 흐르면서 Grease 및 Oil과 같은 윤활제의 기능을 통해 마찰은 감소되는 동시에 안정화 되었다. SUS630 실험에서도 UNSM 처리 후의 우수성이 발견되는데, 이것은 표면 경도 향상, 표면 거칠기 개선, 마이크로 딤플 구조 형성이 마찰계수에 영향을 미치기 때문이라고 사료된다.

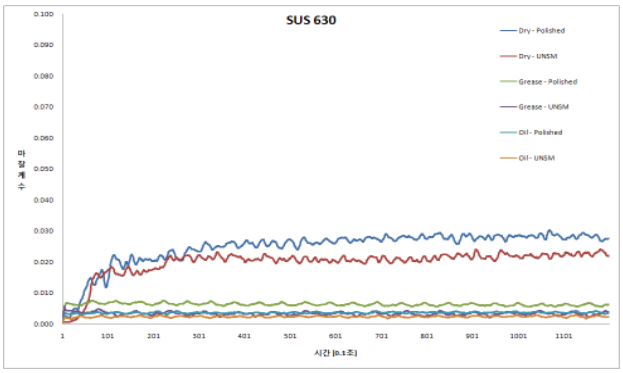


Fig. 5 SUS630의 시간에 따른 Polished 및 UNSM 마찰계수 비교 그래프

4.3 SUS304 UNSM과 SUS630 Polished의 비교 및 고찰

실제적인 비교를 위하여 UNSM 처리 후의 SUS304과 Polished SUS630의 실험 결과 데이터를 비교해 보았다.

Fig. 6의 마찰계수 비교 그래프 에서 보면 각 조건의 윤활 상태별 모두에서 Polished SUS630보다 UNSM 처리 후의 SUS304의 마찰계수가 낮음을 확인할 수 있다. 이렇게 마찰계수 값의 차이를 만드는 것에는 기계적 물성치, 표면 경도, 표면 거칠기 등이 있겠지만, 역시 가장 큰 요인으로는 UNSM 기술로 이루어지는 마이크로 딤플 구조 형성에 있다. 따라서 UNSM 기술이 적용된 SUS304가 적용되지 않은 SUS630보다 마찰계수가 낮아진 것이라고 사료된다.

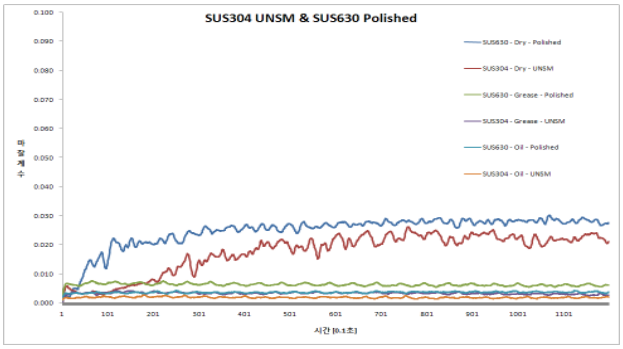


Fig. 6 UNSM 처리 후의 SUS304과 Polished SUS630의 시간에 따른 마찰계수 비교 그래프

5. 결론

본 연구에서는 섬유분야에서 사용되는 Nozzle의 막힘 문제를 해결하기 위하여 마찰 저항을 줄여 Nozzle의 수명을 연장하고자 한다. 또한 Nozzle 소재의 불량을 극복하고자 대체 소재를 개발하고, 제작 원가를 최적화 하고자 한다.

실험은 SUS304, SUS630 시험편의 Dry, Grease윤활, Oil윤활 상태에 대한 마찰계수 결과를 분석하였으며, 그래프로 아래 Fig. 7과 같이 정리하였다. 그러나 실험결과 섬유 Nozzle에서 사용되는 SUS630 Polished의 마찰계수를 기준으로 SUS304 UNSM처리된 소재의 마찰계수가 약1.5~2배 좋아지는 것을 확인 할 수 있었다. 이것은 UNSM 처리로 인한 마이크로 딤플 구조 형성이 주된 원인 이라고 판단된다. 또한 UNSM 처리로 인하여 부식에 대한 마모도가 적어질 것으로 예측된다.

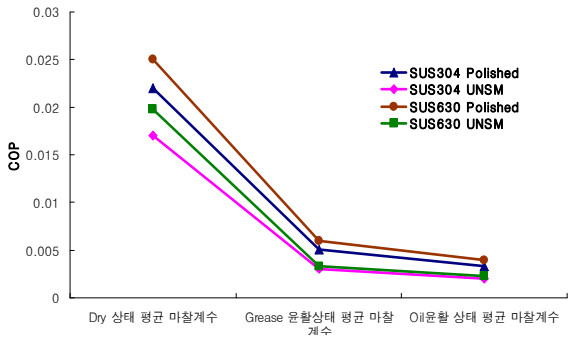


Fig. 7 SUS304 및 SUS630의 Dry, Grease윤활, Oil윤활 상태에서의 마찰계수 비교 그래프

따라서 섬유에 사용되는 노즐의 막힘 문제를 SUS304에 UNSM 처리를 하여 마찰계수를 줄여 막힘 문제 해결이 가능하다고 판단하였다. 이에 따라서 소재의 불량과 제작 원가를 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 물론 기존 Nozzle의 마찰계수와 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
(2) 편영식, 박정현, 조인호, 김창식, 서창민, “초음파 나노 표면 개질 기술의 특성과 활용방안 연구”
(3) 최갑수, 편영식, 박정현, 한수곤, “다목적 마찰 및 마모 시험기 개발”, 한국공작기계 학회지