AE 센서를 이용한 CrN 코팅의 마찰특성에 관한 연구

조정우, 이영제*
성균관대학교 기계공학부 대학원, *성균관대학교 기계공학부

An Experimental Study on the Friction of CrN Coated Specimen using the Acoustic Emission Sensor

Chung-Woo Cho, Young-Ze Lee*
Graduate School of Mechanical Engineering, SungKyunKwan University
*School of Mechanical Engineering, SungKyunKwan University

Abstract - One of the innovative physical methods that provide insight into the basic processes which determine friction and wear behavior of coated machine tools is acoustic emission (AE). In this study, an investigation of the relation between AE and friction signal produced during repeated sliding test is presented. The material of test specimens is CrN coated 0.2% plain carbon steel with 1μm thickness. The obtained results demonstrate that AE signal is very related with friction, and AE signal is more sensitive than friction when CrN coated film come off the substrate.

Key words - acoustic emission, repeated sliding test, CrN film, wear-life diagram

1. 서론

세라믹코팅은 높은 하중을 지지할 정도로 표면이 강하지는 않으나 상대적으로 작은 하중에 대해 마찰에 의한 모재의 손상과 마모를 줄이는 중요한 역할을 한다. 많은 세라믹코팅중 CrN 코팅은 뛰어난 마모·부식저항성과 인성, 저마찰, 코팅조직의 안정성과 기계요소의 적용성등에서 크게 주목받고 있다[1-3].

일반적으로 코팅막특성은 마찰력측정에 의해 평가되고 있는데, 최근 AE 센서를 이용한 방법들이 연구되고 있다.

Cho 와 Komvopoulos 는 다중막으로 세라믹코팅된 절단공구의 마모와 AE 신호의 상관관계에 대한 연구를 하였다[4]. 그들은 AE 신호의 주파수영역이 50~100KHz 일때 코팅막의 표면 부근에서 소성변형이 일어나며, 170~200KHz 의 주파수영역에서는 코팅막박리현상이 일어난다고 하였다.

Bhushan 과 Forehand 는 컴퓨터의 자기저장매체로 쓰이는 디스크의 마모에 대하여 마찰계수와 AE 신호, 광학반사율의 변수를 동시측정기법으로 연구하였다[5]. 그들은 윤활유, 표면조도, 코팅종류에 따라 실험하여 비교하였는데, 박막이 파손함에따라 발생하는 마찰력신호와 음향방출신호가 잘 일치하는 결과를 보이고 있다.

O'Brien 과 Harris 는 자기저장매체의 헤드/디스크 접촉해석을 위하여 AE 기술을 이용하였다[6]. 그들은 먼저 유한요소해석을 수행하여 슬라이더의 고유

진동수를 결정하였다. 그렇게 결정된 슬라이더의 고유진동수를 바탕으로 센서와 필터를 디자인하여 실험하였다.

이와 같이 AE 신호를 이용한 많은 연구들이 진행되고 있는데, 그 영역이 기계공구의 온라인 모니터링과 시험조건이 이상적이라 할 수 있는 자기저장매체에 국한된 경향이 있다.

본 연구에서는 코팅막의 마찰특성평가를 위해 가장 일반적으로 사용되는 미끄럼시험에 AE 센서를 적용시켜보고 CrN 코팅막의 미끄럼 마찰신호와 AE 신호를 서로 비교·분석하여 그 특성을 평가하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험조건

2.1 실험장치

본 실험을 위해 제작된 cone-on-disk 형 미끄럼 코팅마모시험기와 AE 센서 및 관련 장치는 Fig.1 과 같다.

2.1.1 마찰신호 측정부

수직하중은 분동을 올려 압자와 디스크에 직접 가하여 결정하였다. 마찰력은 로드셀을 사용하여 측정하였는데, 측정된 마찰력신호는 인디케이터를 통하여 아날로그/디지털 컨버터로 변환한 후 컴퓨터로 저장하였다. 저장된 마찰력신호는 신호처리프로그램에 의해 마찰계수로 계산하였다.

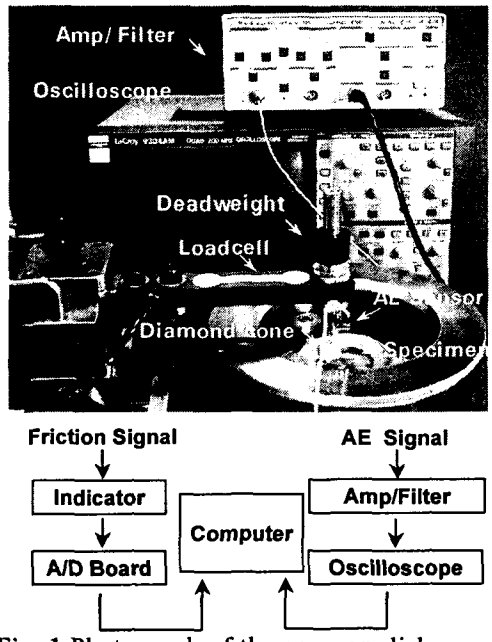


Fig. 1 Photograph of the cone-on-disk Tribometer and the AE equipment

2.1.2 AE 신호 측정부

AE 센서는 압자가 고정된 지그를 크기에 맞게 가공하여 고정시켰다. 모든 이음부는 커플런트를 사용하여 발생된 신호가 잘 전달될 수 있게 하였다. 이렇게 획득한 AE 신호는 40dB 게인의 앰프를 통하여 증폭한 후, 50kHz~500kHz 의 주파수를 제외한 신호는 밴드필터로 필터링하였다. 필터링한 신호는 100 KHz 로 샘플링하여 오실로스코프를 통하여 디스플레이하고, 컴퓨터로 저장하였다.

2.2 실험시편 및 조건

본 실험에 사용한 시편은 지름이 45mm, 두께가 5mm 인 S20C 일반탄소강이다. 코팅막증착은 음극이온아크플레이팅법에 의해 두께를 변수로 CrN 코팅시편을 만들었으며, 시편정보는 table 1 과 같다. 상대재는 반경이 0.2mm 인 일반경도계용 다이아몬드콘을 사용하였는데, 이는 상대재의 응착마모의 영향을 최소화하고 연삭마모에 의한 코팅막의 특성평가를 하기 위한 것[7]이다. 미끄럼속도는 60rpm 으로 고정하여 실험하였다. 이는 회전속도에 의한 마찰열의 발생을 방지하고 압자의 리프트현상이 일어나지 않도록 하기 위해서인데, 선속도를 100mm/sec 이하로 되게 하였다.

미끄럼시험의 최소수직하중을 0.35N 으로 결정하고, 0.1N 씩 증가시켜 실험하여 마찰계수와 AE 신호를 측정하였다. 각각의 하중조건에서 3 번 반복하여 실

험하였으며, 매 실험후 디스크는 아세톤으로 닦고 다이아몬드압자는 아세톤을 이용한 초음파세척을 하여 사용하였다.

Table 1 CrN coated steel

Coating Thickness	Substrate's Hardness(HV)	Substrate's Roughness(Ra)
1 μm	250	0.05μm

3. 시험결과 및 고찰

Fig.2 는 수직하중 0.75N 에서 모재인 S20C 일반탄소강을 미끄럼마모실험을 수행한 결과이다. 마찰계수는 접촉회전수 2000 까지 측정하여 표시하였다. AE 신호는 접촉회전수 40, 100, 200, 800, 1500, 2000 에서 0.1 초 동안의 신호를 표시하였다. 접촉회전수 증가에 따라 마찰계수는 0.25 로 대체로 일정하다. AE 신호는 미끄럼실험 초기부터 모재의 표면파손에 의한 돌발형신호가 나타나는 것을 볼 수 있다. AE 신호의 진폭의 차이는 모재의 파손정도를 나타낸다[4]고 할 수 있다. 즉 미끄럼 접촉회전수가 증가할수록 모재의 파손은 심해진다는 것을 AE 신호를 통해서 알 수 있다.

Fig.3 은 CrN 코팅막두께 1μm 인 시편에 각 수직하중에 따라 미끄럼마모실험을 수행한 결과이다. Fig.3(a)는 수직하중 0.35N 일때의 실험결과인데, 마찰계수는 접촉회전수 3000 까지 0.06 으로

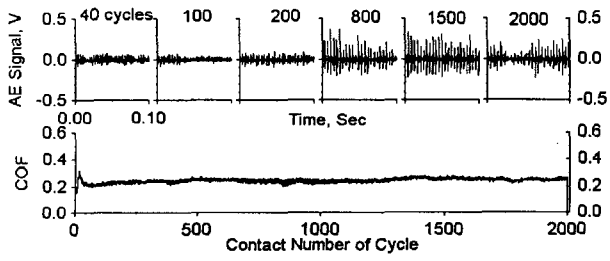
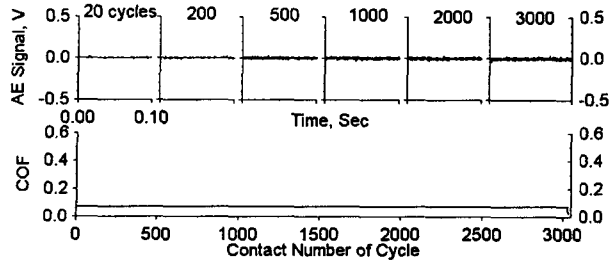
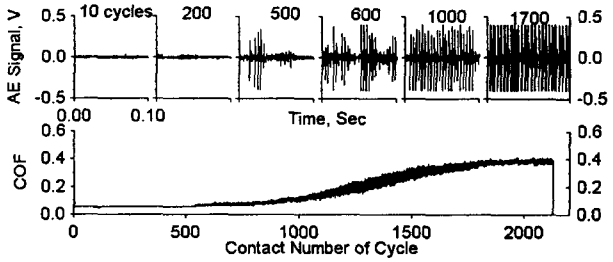


Fig.2 AE and friction coefficient signal for uncoated steel disk sliding at 0.75N normal load

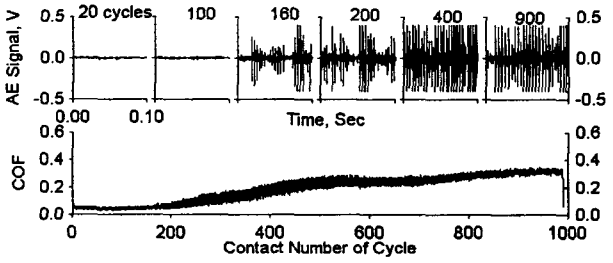
일정한 것을 볼 수 있다. AE 신호는 코팅막의 소성변형에 의한 연속형신호가 나타나는데, 재료의 파손시 나타나는 돌발형신호는 나타나지 않았다. 따라서 수직하중 0.35N 의 미끄럼시험에서는 코팅막이 파손되지 않았다고 할 수 있다. 이것은 AE 신호와 마찰신호 모두 일치된 결과를 보이고 있기 때문이다. Fig.3(b)는 수직하중 0.45N 일때의 실험결과인데, 마찰계수는 접촉회전수 540 까지 0.06 으로 변화가 없었으나, 그 이후 코팅막파손에 의한 마찰계수의 급격한 증가가 나타나는 것을 볼 수 있다. Fig.3(b)의 AE 신호를 보면 접촉회전수 500 전까지 코팅막의 소성변형에 의한 연속형신호가 나타났다. 접촉회전수 500 부터 코팅막 파손에 의한 돌발형신호가 나타나는 것을 볼 수 있다. Fig.3(c)은 수직하중 0.55N 일때의 실험결과이다. 마찰계수는 접촉회전수 170 까지 0.06 으로 일정하다가 그 이후에 코팅막 파손에 의한 급격한 마찰계수의 증가를 볼 수 있다. Fig.3(c)의 AE 신호는 접촉회전수 160 전까지 코팅막의 소성변형에 의한 연속형신호를 보이고 있으며, 그 이후에 코팅막 파손에 의한 돌발형신호가 나타나는 것을 볼 수 있다. Fig.3(d), (e)의 수직하중 0.65N, 0.75N 일때도 같은 경향을 보이고 있다. 즉 각 하중조건에서 마찰계수는 접촉회전수 80, 40 까지 0.06 으로 일정한 반면 그 이후의 접촉에서 코팅막파손에 의한 마찰계수의 심한 증가가 나타난다. Fig.3(d), (e)의 AE 신호는 접촉회전수 70, 25 일때 코팅막 파손에 의한 돌발형신호를 보이고 있다. 실험결과 코팅막파손에 의해 나타나는 마찰신호와 AE 신호는 거의 일치한다는 것을 알 수 있다 그러나 AE 신호가 마찰신호보다 미끄럼회전수 증가에 따른 코팅막 파손에 항상 빠르게 반응한다는 것을 알 수 있다.



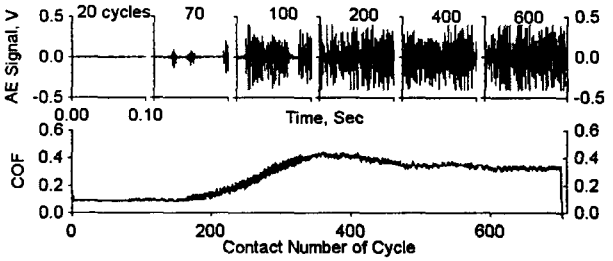
(a) 0.35N normal load



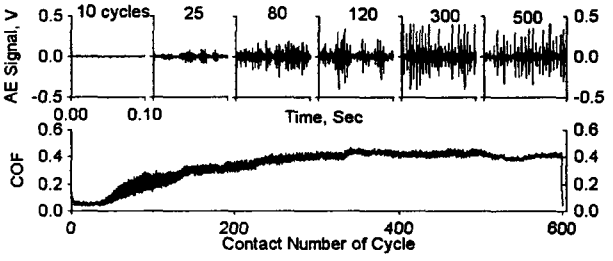
(b) 0.45N normal load



(c) 0.55N normal load



(d) 0.65N normal load



(e) 0.75N normal load

Fig. 3 AE and friction coefficient signal for CrN Coated steel disk sliding at each normal load

Fig.4 Wear track (a)(b)(c) CrN coated disk tested at 0.45N normal load(—:200μm)

Fig.4 는 수직하중 0.45N 조건에서 미끄럼마모실험을 수행한 후의 마모트랙이다. 그림에서 (a)는 저마찰신호와 연속형 AE 신호가 나타날때(Fig.3 (b)의 접촉회전수 200 에 해당함)까지 실험한 트랙인데, 코팅막의 소성변형만 나타나 있을 뿐 코팅막이 모재에서 떨어져 나가는 스폴링현상은 나타나지 않았다. (b)는 저마찰신호와 돌발형 AE 신호가 나타나기 시작할때(Fig.3 (b)의 접촉회전수 500 에 해당함)까지 실험한 트랙인데, 코팅막의 부분적인 스폴링형상이 나타난 것을 볼 수 있다. 이러한 코팅막의 스폴링현상은 코팅막파손이 시작되는 것을 의미하는 것으로 마찰신호보다 AE 신호가 코팅막파손을 예측하는데 더 민감하다는 것을 보이고 있다. (c)는 마찰계수의 급격한 증가와 돌발형 AE 신호가 나타날때(Fig.3 (b)의 접촉회전수 1000 에 해당함)까지 실험한 트랙인데,

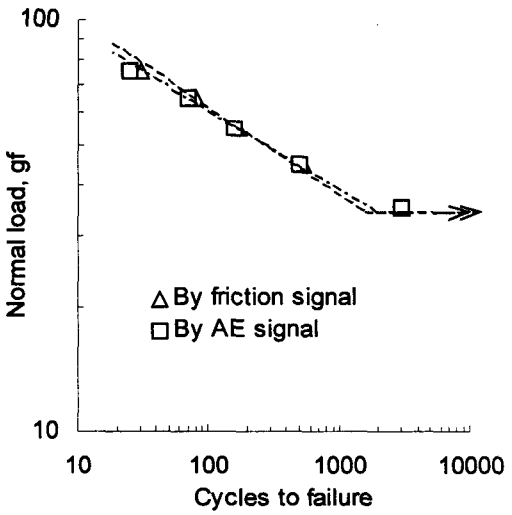


Fig.5 Wear life diagram of CrN coated steel disk with 1μm thickness

코팅막이 심하게 파손되어 모재가 완전히 드러나 있는 것을 볼 수 있다.

위에서 실험한 결과를 바탕으로 미끄럼 수직하중과 코팅막파손이 시작되는 코팅막마모수명까지의 접촉회전수를 대수좌표로 나타낸 마모수명선도[8]를 Fig.5 와 같이 나타낼 수 있다. 마찰신호에 의한 마모수명선도와 AE 신호에 의한 마모수명선도가 거의 일치하는 것을 볼 수 있다.

4. 결론

CrN 으로 코팅된 일반탄소강의 마찰특성평가를 위해 다이아몬드 압자를 사용한 미끄럼마모실험에 AE 센서를 적용시켜보고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 미끄럼접촉회전수 증가에 따른 코팅막 파손에 의해 발생하는 마찰신호와 AE 신호는 거의 일치한다. 따라서 코팅막의 수명예측에 AE 센서의 적용이 가능하다.
2) 반복미끄럼마모실험에서 코팅막 파손에 대하여 AE 신호가 마찰신호보다 더 민감하게 반응한다.
3) AE 신호에 의한 코팅막의 마모수명을 평가할 수 있으며, 그에따른 마모수명선도 작성이 가능하다.

후기

본 연구는 98 년 한국과학재단 연구비지원(과제번호 981-1011-069-2)과 성균관대학교 산업설비안전성평가 연구센터의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

[1] Mustafa Urgen and Ali Fuat Cakir, "The effect of heating on corrosion behavior of TiN-and CrN-coated steels", Surface & Coating Tech., vol.96, pp236~244, 1997

[2] Y.L.Su, S.H.Yao, Z.L.Leu, C.S.Wei and C.T.Wu, "Comparison of tribological behavior of three films-TiN, TiCN and CrN-grown by physical vapor deposition". WEAR, vol.213, pp.165~174, 1997

[3] B.Navinsek, P.Panjan and J.Krusic, PVD coatings, "Chromium nitride, industrial application, performance tests", Surface & Coating Tech., vol.97, pp182~191, 1997

[4] S.S.Cho, K.Komvopoulos, "Correlation between acoustic emission and wear of multi-layer ceramic coated carbide tools", Transactions of the ASME, vol.119, pp238~246, 1997

[5] B.Bhushan, S.M.Forehand, "In situ instrumentation for localized wear studies of magnetic thin-film disks", Proc Instn Mech Engrs, Vol.211, Part J, pp249~262, 1997

[6] K.O'Brien, D.Harris, "Head/disk interface contact detection using a refined acoustic emission technique", Journal of Tribology, vol.118, pp539~542, 1996

[7] 정기훈, 이영제, "마모수명평가를 위한 TiN 경질박막의 마찰 및 마모특성에 관한 연구", 한국윤활학회지, 제 13 권, 제 3 호, pp28~32,1997

[8] Y.-Z.Lee, K.-H.Jeong, "Wear-life diagram of TiN-coated steels", WEAR, vol.217, pp175~181, 1998