

Zr-Al-Cu계 나노구조 코팅재 설계개발 및 윤활마찰거동 조사

Development of the coating materials consisting of Zr-Al-Cu for nano structured coating and investigation of their friction behavior

신승용^{a*}, 문경일^a, 선주현^a

^{a*} 한국생산기술연구원, 열처리연구실용화그룹 (E-mail : seung@kitech.re.kr)

초 록 : 최근 자동차 성능 및 연비향상을 위해서 엔진의 고출력화 및 소형화 경향이 뚜렷해지고 있으며, 이로 인해 엔진내부의 부품이 받는 환경은 더욱 가혹해 지고 있다. 즉, 자동차 엔진 구동부품은 금속간의 접촉가능성이 매우 높은 경계윤활조건에 놓이게 되며, 또한 배기 가스 규제에 의한 첨가제를 최소화 하려는 경향에 따라 경계윤활 환경에서 더욱 심한 마모문제에 직면할 것으로 예상되어 내구성 및 내마모성이 높은 코팅기술에 대한 요구가 더욱 증가하고 있다. 본 연구에서는 Zr기지의 비정질 형성능을 갖는 합금계를 이용하여 아르곤 및 질소분위기에서 스퍼터링 함으로써 고경도의 ZrN상과 엔진오일과 반응하여 저마찰 트라이보 필름을 형성시킬 수 있는 금속계 원소가 Tissue phase로 존재하는 질화물 나노박막합성기술을 개발한 후 자동차 구동부품인 벨브트레인계 및 피스톤링/라이너 부품에 적용하여 마찰특성을 평가하였다.

1. 서론

엔진 구동부 저마찰을 위한 접근방법은 마찰제어제(Friction modifier)가 첨가된 엔진오일을 개발하고 사용하는 것과 저마찰 하드 코팅을 개발하는 것이다. 이 두 가지 접근 방법에 있어서 전제되는 중요한 원칙은 엔진오일과 코팅제간의 상합성이 매우 중요한 인자이다. 즉 엔진 오일의 개발 방향과 저마찰 메커니즘은 철계(Ferrous)의 표면에서 구현될 수 있도록 설계되었기 때문에 하드코팅재의 성분은 철계 또는 철계족원소(iron family element) 또는 적어도 Metallic한 성분이 포함되어야 한다. 그러나 현재 사용되고 있는 DLC(Diamond like carbon) 및 질소화합물막(Nitride)은 구성성분측면에서 엔진오일과 부적합하다.

또한 DLC코팅 부품의 경우 엔진 구동부의 온도상승으로 인하여 sp3구조의 다이아몬드 구조에서 sp2의 그래파이트 구조로 변화됨에 따른 내열성 문제가 지속적으로 제기되고 있으며⁽¹⁾, 최근 자동차 엔진오일 제조회사인 Infineum사의 경우 DLC 코팅부품에서 저연비화를 위한 MoDTC 첨가제가 함유된 오일환경에서의 마모현상으로 인하여 DLC 코팅부품의 내구성에 문제가 있음을 보고하였고⁽²⁾, 미국의 Ford사의 경우 동일 오일환경 하에서 DLC 코팅부품의 마찰저감 효과가 없다고 보고하였다⁽³⁾. 또한 DLC코팅 기술을 피스톤 링에 적용하기 위해서는 상대부품인 실린더라이너의 열악한 조도로 인한 링 공격성으로 10um 이상의 후막성막기술이 필요하나, 고경도의 DLC박막과 기지층인 링 모재와의 잔류응력으로 인하여 후막성막이 매우 어려운 실정이다. 따라서 상기의 DLC 코팅부품의 내열성 및 후막성막특성을 극복하고, 저마찰 오일환경 하에서 내구성을 갖는 신규코팅 기술개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

2. 본론

본 연구에서는 Zr-Al-Cu 조성의 비정질형성능을 갖는 다성분계 합금타겟을 이용하여 아르곤 및 질소 혼합가스 분위기 하에서 스퍼터링 공정을 통하여 질화물 나노박막을 합성하였다. 자동차 부품의 마찰저감 효과를 확인하기 위하여 벨브트레인 부품인 타렛 상면에 질화물 나노박막을 3um 두께로 코팅한 후, 캠-타렛 리그시험을 수행하였다. 캠-타렛 리그시험은 70°C~120°C 구간에서 시험하였으며, 비교재로서 DLC 코팅부품 및 코팅처리되지 않은 부품을 사용하였다. 사용된 엔진오일은 현대모비스의 5W30오일에 MoDTC 첨가제가 혼합된 제품을 사용하였으며 엔진 작동구간인 500~4000rpm 구간의 마찰토크를 측정함으로써 연비저감 효과를 확인하였다.

그림.1에 본 연구에서 개발된 캠-타렛 리그시험 결과를 보였다. 개발된 질화물 나노박막은 저속회전 구간에서 뚜렷한 마찰저감 효과가 있음을 확인하였으며 3500rpm 이상의 고속회전 구간에서 DLC 코팅제품과 유사한 마찰토크를 보임을 확인하였다. 이러한 마찰저감 효과는 시험온도가 상승함에 따라 더욱 커짐을 확인하여 개발된 질화물 나노박막의 내열성 및 고온마찰특성이 DLC 코팅제품에 비해 우수함을 확인하였다.

캠-타렛 리그시험 후 AFM 분석을 통하여 트라이보필름 부위의 마찰계수 mapping을 시도하였다(그림.2). 그 결과 개발된 질화물 나노박막 표면에 형성된 트라이보 필름 부분에서 0.01 이하의 초저마찰 특성이 구현됨을 확인할 수 있었으며, DLC 코팅제품에 형성된 트라이보 필름의 경우 저마찰 특성이 구현되지 않는 것을 확인하였다. 또한 엔진 구동 시 실린더 라이너와 직접 접촉하는 피스톤링에 10um 이상의 후막을 합성한 후 마찰특성을 평가한 결과 DLC 코팅제품에 비해 약 50% 이상의 마찰저감 효과를 확인하였다.

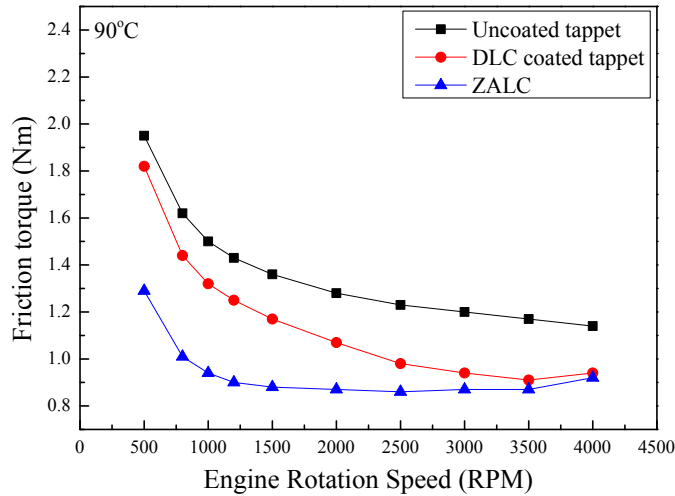


Fig. 1 Cam-tappet rig test result

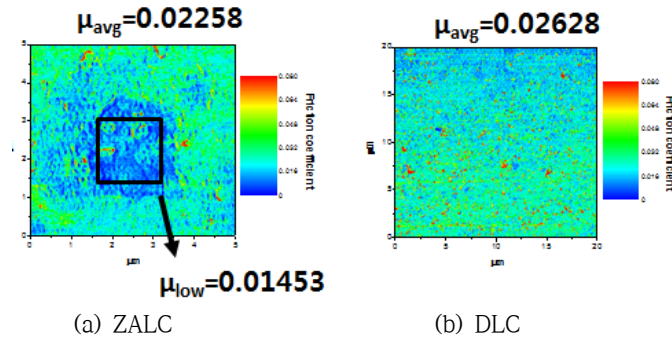


Fig. 2 Friction mapping in AFM

3. 결론

벨브트레인계인 타펫 상면에 질화물 나노박막을 코팅한 후 캠-타펫 리그시험을 수행한 결과 DLC 코팅제품에 비해 약 30%이상의 마찰저감 효과를 확인하였으며 마찰메카니즘 규명을 위해 AFM을 이용하여 마찰계수를 mapping한 결과 생성된 트라이보 필름에서 0.01 이하의 저마찰 특성이 있음을 확인하였다. 또한 엔진 구동 시 실린더 라이너와 직접 접촉하는 피스톤링에 10um 이상의 후막을 합성한 후 마찰특성을 평가한 결과 DLC 코팅제품에 비해 약 50%이상의 마찰저감 효과를 확인하였다.

참고문헌

1. A. Neville, A. Morina, t. Haque, M. Voong, "Compatibility between tribological surfaces and lubricant additives", Tribology International 40 (2007) 1680-1695
2. S. Kosarieh, A. Morina, E. Laine, J. Flemming, A. Neville, "The effect of MoDTC-type friction modifier on the wear performance of a hydrogenated DLC coating", Wear 302 (2013) 890-898.
3. ARUP GANGOPADHYAY, KAUSTAV SINHA, DAIRENE UY, DOUGLAS G. MCWATT, ROBERT J. ZDRODOWSKI, AND STEVEN J. SIMKO, "Friction, Wear, and surface film formation characteristics of Diamond-like carbon thin coating in valvetrain application", Tribology Transactions 54 (2011) 104-114.