대기플라즈마 용사법으로 제작된 알루미나-지르코니아 세라믹스 코팅층의 마찰마모거동에 고체윤활체의 효과

Effects of Solid Lubricants on friction and wear behaviors of APSed Al_2O_3-ZrO_2 Ceramic Composites Coating

김성호[a*], 정상훈[b], 이솔빈[b], 이수완[b]
[a*]선문대학교 친환경다기능나노재료연구소(E-mail:shkim15@sunmoon.ac.kr), [b]선문대학교 환경생명화학공학과

Abstract: 고체윤활제는 고온부품의 응용에 매우 적합한 소재이다. 세라믹스를 기반으로 하는 고온저마찰소재는 우주항공, 발전시설 등과 같은 다양한 분야에서 매우 중요하다. 본 연구는 고온저마찰 소재를 가지는 자기윤활 Al_2O_3-ZrO_2 세라믹 복합 코팅층의 마찰마모거동에 초점을 맞추고 있다. 이 자기윤활 Al_2O_3-ZrO_2 세라믹 복합 코팅층은 대기플라즈마 용사법으로 제작하였으며, 비윤활상태에서 마찰마모거동을 조사하였다.

1. 서론

자동차 산업은 고강도 및 고인성을 가지는 고온에서 유지될 수 있는 저마찰 세라믹 복합체를 필요로 한다. 따라서, 고온저마찰 특성을 가지는 세라믹 복합체는 우주항공 및 발전시설 등과 같은 다양한 분야에서 매우 중요하다. 엔진이나 터빈에서 에너지는 마찰에 의해 약 10% 소비되는 것으로 알려졌다 [1]. 윤활제는 마찰계수를 낮추기 위해 널리 사용되고 있으며, 특히 다양한 윤활제 중에서 고체윤활제는 고온 응용에 가장 적합하다. 고체윤활제는 부드러운 소재 (예; Pb, Ag, Au, CaF_2 및 BaF_2), 층상물질 (예; MoS_2, WS_2, h-BN 및 흑연), 유기중합체 (예; PTFE, FEP, nylon 및 esters), 또는 화성피막 (예; oxide films, anodised or phosphated surface layers) 등이 있다 [2,3]. 최근, 많은 연구자들에 의해 마찰계수를 낮추기 위하여 고체윤활물질이 포함된 자기윤활물질에 대한 연구가 보고되었다. 이와 같은 자기윤활소재는 소결방법, 코팅방법 및 다른 공정에 의해 제작되어진다. 본 연구는 고온저마찰소재를 가지는 자기윤활 Al_2O_3-ZrO_2 세라믹 복합 코팅층의 마찰마모거동에 초점을 맞추고 있다. 고온저마찰소재는 CaF_2, BaF_2, h-BN, MoS_2 및 WS_2를 사용하였다. 이 자기윤활 Al_2O_3-ZrO_2 세라믹 복합 코팅층은 대기플라즈마 용사법으로 제작하였으며, 비윤활상태에서 마찰마모거동을 조사하였다.

2. 본론

본 연구에서는 대기플라즈마 용사장치(A-2000 APS eqiupment with an F4-MB gun, Sulzer Metco AG, Switzerland)를 이용하여 자기윤활 Al_2O_3-ZrO_2 세라믹 복합 코팅층을 제작하였다. 이때 코팅 조건은 전류 620A, 전압 70V, 용사거리 120mm, gun power 41400W로 하였다. 이와 같은 조건으로 제작한 용사층의 표면특성은 Table 1에 나타내었다. 코팅층의 두께와 표면거칠기는 고체윤활제의 종류에 따라 다르게 나타났다. 코팅층은 고체윤활제가 첨가되지 않은 시료에서 240 - 270 μm로 가장 두껍게 나타났으며, MoS_2가 첨가된 코팅층에서 87 - 140 μm로 가장 얇게 관찰되었다. 코팅층의 표면거칠기 (Ra와 Ry)는 WS2가 첨가된 코팅층에서 6.6 μm와 49.0 μm로 각각 나타났으며, h-BN이 첨가된 코팅층에서 11.4 μm와 81.8 μm로 가장 거칠게 나타났다. 이와 같은 표면특성을 가진 코팅층의 마찰계수는 Fig. 1에 나타났다. 고체윤활제가 첨가되지 않은 코팅층은 0.45 - 0.65의 초기 마찰계수를 나타냈으며, 안정된 상태의 마찰계수는 0.35 - 0.45로 나타났다. 한편, 고체윤활제가 첨가된 코팅층의 마찰계수는 h-BN이 첨가된 코팅층에서 초기 (0.35) 및 안정상태 (0.40)의 마찰계수가 가장 낮게 나타났고, BaF2 및 MoS2가 첨가되었을 때, 초기 (0.65) 및 안정상태 (0.55) 의 마찰계수가 가장 높게 나타났다. 이와 같은 마찰계수의 값이 표면거칠기와 다른 경향을 보이는 것은 코팅층의 구조 및 기계적 특성에 영향을 받기 때문이다. 코팅층에 존재하는 많은 기공과 잔류분말은 코팅층의 경도를 떨어트리기 때문이다.

Table 1. Thickness and surface roughness of APSed self-lubricating Al_2O_3-ZrO_2 composite coating layers

Sample	Thickness (μm)	Ra (μm)	Ry (μm)
without	240 - 270	10.3	76.1
CaF_2	155 - 200	10.0	76.9
BaF_2	190 - 230	9.2	81.3
h-BN	155 - 170	11.4	81.8
MoS_2	87 - 140	7.6	60.0
WS_2	170 - 200	6.6	49.0

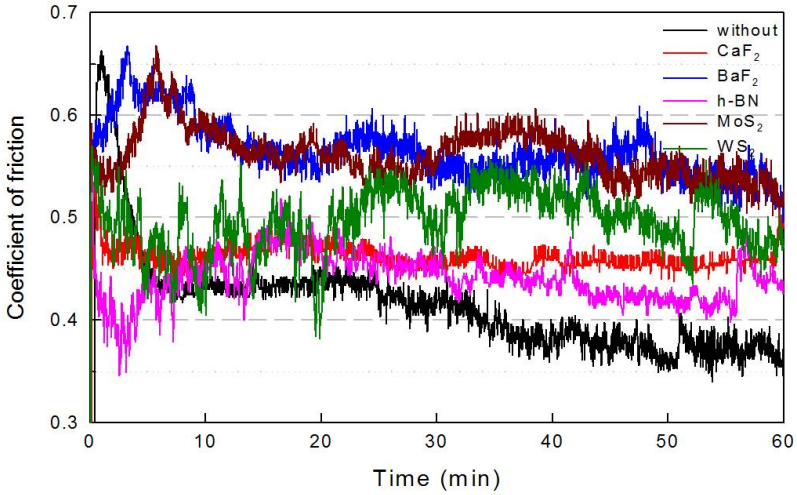

Fig. 1. Variation of the coefficient of friction of APSed Al_2O_3-ZrO_2 composite coating layers.

3. 결론

대기플라즈마 용사법으로 제작된 자기윤활 Al_2O_3-ZrO_2 세라믹 복합 코팅층의 마찰마모특성은 첨가된 고체윤활제에 영향을 받는 것으로 나타났다. 첨가된 고체윤활제의 종류에 따라, 형성된 자기윤활코팅층의 미세구조(기공 및 잔류분말)에 따른 특성변화가 발생되며, 이로 인한 경도 저하되기 발생된다. 또한 마찰마모시험시 발생되는 마모입자(wear debris)의 영향으로 코팅층 표면에 윤활 혹은 보호층을 형성하기 때문에 마찰계수 변화 및 마모거동에 영향을 미치게 된다.

참고문헌

1. S.H. Kim, Korean J. Met. Mater., 52 (2014) 263.
2. A. Savan et al, Surf. Coat. Technol., 126 (2000) 159.
3. P. Sutor, MRS Bull., 16 (1991) 24.