미끄럼 접촉시 이종세라믹 간의 트라이볼로지적 특성

김법민 [1](경북대학교 기계공학과 대학원), 김석삼 [2](경북대학교 기계공학과),
신동우 [3](경북대학교 기계공학과 대학원), 윤상보 [4](상호세라믹 ㈜),

Tribological Characteristics of Sliding Contact between Deferent Combinations of Ceramics

[1]Bupmin Kim*(Graduate School, Department of Mech. Eng., Kyungpook National Univ.)
yomean@hanmail.net.,
[2]Seock-sam Kim (Mechanical. Eng. Dept., Kyungpook National Univ.) *sskim@knu.ac.kr.*,
[3]Dongwoo Shin (Graduate School, Department of Mech. Eng., Kyungpook National Univ.)
sdw0610@hanmail.net.,
[4]Sang-bo Yoon (Sang-ho Ceramic CO., LTD) *sanghoce@kornet.net.*

ABSTRACT

현재 구조용 세라믹에 대한 연구는 여러 가지 작동 조건에 의해 도출된 마멸 데이터를 정량적으로 제시하고 이들의 마멸기구의 변화가 일어나는 사용 조건의 시점을 파악하였다. 이 전의 연구들은 주로 동질 재료끼리 마찰 마멸 실험으로 제한되었다. 그러나 상대 운동하는 세라믹 재료들의 특성 상 기계적, 화학적 물성차이에 의해 마멸 기구와 트라이볼로지적 거동(마찰계수, 마멸율)등 이 다르게 나타날 확률이 높다. 이에, 본 연구에서는 볼 온 디스크 마멸 실험을 통해 여러 가지 작동환경에 따라 서로 상대 운동하는 세라믹의 재료를 달리하여 실험 하여 다른 세라믹 재료간의 트라이볼로지적 특성을 고찰하였다. 지르코니아 시편에 대해 지르코니아, 알루미나, 실리콘카바이드 3종의 상대재를 사용하여 속도와 하중조건을 변화하여 마멸실험을 수행한 결과, 지르코니아-실리콘카바이드 조합의 실험에서 저마찰 저마멸 특성이 나타났다.

Currently, the study on structural ceramic helps to suggest the precise data of friction and wear in accordance with the various conditions in operations. Also, the study helps to predict effective operating conditions by monitoring the occurrence of wear transition. The studies in the past were mainly concentrated in using identical materials. However, it is highly likely to have unqualified data from the differences of mechanical and chemical properties between ceramic materials. Thus, in this study, through conducting the ball-on-disk type wear testing, the different ceramic materials has been used to consider tribological characteristics between different ceramic materials. We conducted the wear test by using three kinds of specimen which are zirconia, alumina and silicon carbide against zirconia. We have changed the sliding velocity and the loading conditions in this test and found out that there is row friction coefficient and wear rate in the combination of zirconia and silicon carbide.

Keywords : Ceramics, Sliding Contact, Wear, Friction, Ball on Disk, SEM

1. 서론

세라믹은 비금속 무기물을 주성분으로 하는 재료로써 자원이 풍부하고 특성이 다양하며 오래전부터 도자기류, 내화벽돌, 시멘트 연마재, 유리등으로 응용된 이래 인간의 생활에 중요한 역할을 하여왔다. 최근에는 이른바 , 파인세라믹스가 개발됨에 따라 그 활용이 급격히 증가하고 있다. 이러한 세라믹스는 다른 금속이나 고분자 재료에 비해 밀도가 낮으면서도 경도가 높고 화학적 반응에 대해서도 안정하고 단열성이 우수하기 때문에 높은 온도에서도 기계적 성질이 유지 된다. 이러한 우수한 특성으로 인해 극한조건에서도 마멸 저항이 큰 이상적인 재료로 쓰여지고 있다.

세라믹의 마멸은 작동 조건(수직하중, 속도, 온도)과 재료의 물성치(입자의 크기, 기계적 열적 물성치등)에 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 이러한 작동 조건에 따른 세라믹스의 마멸을 예측하기위한 여러 가지의 마멸 지도가 여러 연구가에 의해 제안 되었다. [1-5]

현재 구조용 세라믹에 대한 연구는 위에서 언급한 내용처럼 세라믹의 마멸기구에 대한 이해와 여러가지 작동 조건에 의해 도출된 마멸 데이터를 정량적으로 제시하고 이들의 마멸기구의 변화가 일어나는 사용조건의 시점을 파악하였다. 따라서 이 전의 연구들은 동질 재료끼리 마찰 마멸 실험으로 제한되었다. 그러나 상대 운동하는 세라믹 재료들의 특성 상 기계적 화학적 물성차이에 의해 마멸 기구와 트라이볼로지적 거동(마찰계수, 마멸율)등 이 다르게 나타날 확률이 높다. 이에, 본 연구에서는 여러 가지 작동환경에 따라 서로 상대 운동하는 세라믹의 재료를 달리하여 실험 하여 다른 세라믹 재료간의 트라이볼로지적 거동을 파악한다.

2. 실험

2.1 시편

본 실험에서 사용한 세라믹 재료는 디스크 재료로써 지르코니아와 탄화규소를 사용하였고, 볼의 재료로써는 지르코니아 탄화규소 알루미나를 사용하였다. 디스크의 직경은 20mm 두께가 5mm이고, 볼의 직경은 10mm이다. 시험편의 표면은 연삭하여 표면 거칠기가 측정한 결과(측정기) 0.01μm 이하가 되도록 하였다. 경도는 마이크로 비커스 경도기(Akashi-MVKH2)를 이용하여 측정하였다. 파괴인성은 비커스 경도기를 통한 압입시험으로 측정하였다. Table 1에 각 시편의 기계적 물성치를 보여준다.

2.2 실험 방법

본 실험에서는 Fig. 1에서 나타낸 바와 같이 회전하는 디스크 위에 볼을 얹고 일정하중으로 가압하는 ball-on-disk type 마멸실험을 수행하였다. 볼의 접촉점은 디스크의 회전중심에서 5mm 편심이 되도록 하여 디스크면에 직경이 10mm인 wear track이 방생하도록 하였다.

무윤활, 상온(22℃), 대기압 환경하에서 실험을 수행하였다. 미끄럼 속도는 70mm/s와 140mm/s에서 설정하였으며, 미끄럼 거리는 504m로 일정하게 하였다. 마찰력 측정은 시험기의 로드셀에 의해 측정된 값을 아날로그/디지탈 변환기를 통하여 IBM PC에 10초 간격으로 저장한 뒤 그 값으로부터 마찰 토크를 측정하여 Friction force를 계산한 뒤 수직하중으로 나누어 계산였다

마멸실험은 각 하중조건에 대해 1~2회를 수행하였다. 실험 전후에 시험편은 초음파 세척기를 이용하여 아세톤 용액에 15분간 세척하였다. 마멸량 측정은 표면거칠기 측정기를(MITUTOYO, SURF-500) 사용하여 디스크면 wear track의 4곳을 선정하여 평균치를 구하여 마멸 된 단면의 면적을 측정하였다. 주사 전자현미경을 통하여 마멸면의 형상을 관찰하였고 EDX분석을 통해서 마멸면의 화학적 성분을 조사 하였다.

편의를 위해 실험을 위한 각 시편의 조합의 이름을 Table 2에 나타내었다. 이하 본 논문에서 Table 2의 대표약자로 칭하기로 한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 마찰 특성

마찰계수는 트라이볼로지적 거동을 이해하게 하는 중요한 자료 중에 하나이다. 각 시편에 대한 마찰계수의 변화를 미끄럼거리 및 하중에 대하여 고찰하였다. Fig. 2는 하중에 변화에 따른 평균 마찰계수의 변화를 보여준다.

Fig. 2에서 미끄럼 속도 70mm/s일때, ZAC는 0.4~0.5 사이의 상대적으로 낮은 마찰 계수를 나타내고, ZAA와 ZAZ는 저하

중에서 상대적으로 높은 0.7~0.8사이를 보이며 하중이 증가할수록 ZAA 는 점점 작아지는 것을 보여준다. 미끄럼 속도 140mm/s 에서 ZAC는 98N 이상의 하중일때, 마찰계수가 다소 증가하며, ZAA는 60N의 하중에서 마찰계수가 증가한다.

3.2 마멸특성

Fig. 3 은 비마멸율을 각 하중에 대해 나타낸 것이다. 비마멸율은 미끄럼 거리와 하중에 대한 마멸량으로 정의된다.

마멸량은 거의 일정함을 보이나, ZAA 에서는 하중이 60N 이상 증가하면 높아진다. 전체적으로 비마멸율은 ZAC, ZAA, ZAZ 순으로 나타났다.

140mm/s 의 실험에서 하중이 60N 이상 증가할 때 ZAA 의 비마멸율이 급격히 증가한다. ZAZ 는 70mm/s 속도와 비슷한 비마멸율을 보이나, ZAA 와 ZAC 의 실험에서 비마멸율이 급격히 증가한다

3.3 마멸면 관찰

SEM 을 이용한 마멸면을 관찰함으로써 마멸 거동을 파악하였다.

Fig.4(a)는 ZAZ 마멸면의 SEM 이미지이다. 미끄럼 방향으로 수직한 균열이 형성되어있으며 얇은 판상의 마멸 입자가 떨어져 나간 것을 볼 수 있다.

Fig.4(b)는 Fig. 4(a)의 A 영역의 EDS 분석 이미지이다. 이것은 마찰로 인해 접촉면 사이에 얇은 전이층이 형성되었음을 보여준다. 이것이 접촉면 사이에 Tribo-Film 역할을 하여 마찰계수가 상대적으로 낮게 나타나는 것으로 보인다.[6] 생성된 전이층에 미끄럼 접촉이 반복적으로 일어나면서 표면의 인장응력에 의해 표면 균열이 형성, 전파되어 얇은 판상으로 떨어져 나간 것으로 사료된다.[7]

Fig. 5 는 ZAZ 마멸면의 SEM 이미지이다. 표면 크랙에 의해 마멸입자가 탈락하게 되고, 입자가 탈락한 거친면에 또 다시 접촉이 일어나면서 소성변형에 의한 마멸이 발생함을 보여준다.

ZAZ 마멸면의 형상은 미끄럼속도 140mm/s 일 때, 저하중 영역과 고하중 영역에서 차이가 난다. 저하중 영역에서는 Fig. 5(A)에서처럼 입계탈락에 의한 마멸 현상이 관찰 되며, 고하중 영역에서는 Fig. 5(b), (c)에서 보이는 것처럼 소성변형에 의한 ploughing 형상과 미소균열에 의한 마멸 형상을 볼 수 있다.

4. 결론

서로 다른 세라믹 재료간의 마멸 실험을 통해 각 세라믹 재료의 차이에 의한 마찰 마멸 특성을 파악한 결과는 다음과 같다.

1. 미끄럼속도 70mm/와 140mm/s 에서 모두 마찰계수와 마멸율는 지르코니아-실리콘 카바이드 조합에서 가장 낮게 나타났으며, 이 것은 접촉면 사이의 전이층 형성에 의한 영향이다.
2. 미끄럼속도 140mm/s 일때, 60N 에서 ZAA 에서 마찰계수와 마멸율이 증가하며 마멸기구가 변화함을 관찰하였다.
3. ZAZ 에서 마찰계수가 상대적으로 높게 나타나며, 비마멸율은 속도에 무관하게 하중의 변화에 따라 거의 일정하게 나타났으며 ZAA 와 ZAC 에 비해 높게 나타났다.

후기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

참고문헌

1. G. R. Terwilliger and R. Redford, Ceram. Soc. Bull. 53, 465 1974.
2. Evans, A. G. and Marshall, D. B., "Wear Mechansim in Ceramics", Fundamentals of Friction and Wear of Materials, pp. 439 ~ 452, 1981
3. Adewoye, O. O. and puge, T. F., "Friction Deformation and Fracture in Polycrystalline Sic and Si3N4", wear, Vol. 70, pp. 37 ~ 51, 1981.
4. Kim, S. S., Kato, K., Hokkirigawa, k. and Abe, H., "Wear Mechanism of Ceramic Materials in Dry Rolling Friction". Trans. ASME J. of Tribology, Vol. 108, pp. 522 ~ 526, 1986.
5. Steijin, R. P., "On the Wear of Sapphire", J. of Applied Physics, Vol. 32, No. 10, pp. 1951 ~ 1958, 1961.
6. Antonella Tucci., "Second phases and material transfer in alumina ceramics sliding system", wear, Vol. 245, pp.76-83, 2000.

Table 1 Mechanical properties of the specimen

	ZrO2	SiC	Al2O3
Density (g/cm^3)	6.01	3.1	3.87
Young's Modulus (Gpa)	200	450	280
Hardness (Gpa Hv)	11.7	25.1	15.2
Fracture Toughness (Mpa $m^{1/2}$)	4.41	2.25	2.60

Table 2 Combinations of specimen for experiment

	Zirconia Ball	Alumina Ball	Silicon Carbide Ball
Zirconia Disk	ZAZ	ZAA	ZAC

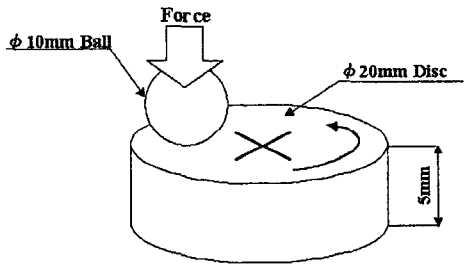
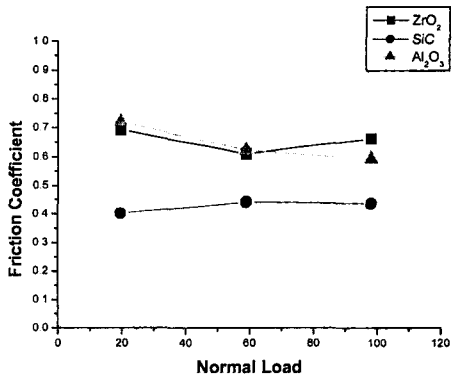
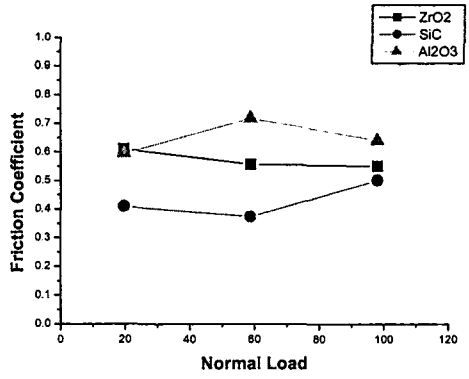


Fig. 1 Schematic illustration of ball on disk type wear test

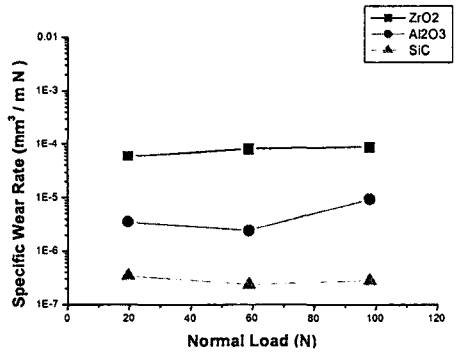


(a)

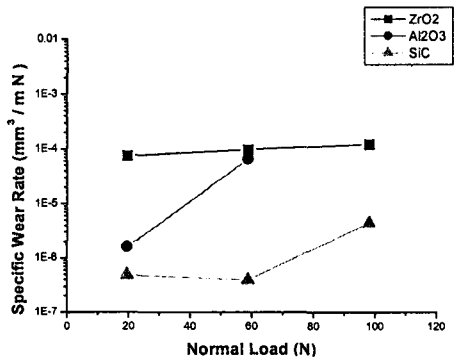


(b)

Fig. 2 (a)Variation of friction coefficient at sliding speed of 70mm/s. (b)Variation of friction coefficient at sliding speed of 140mm/s

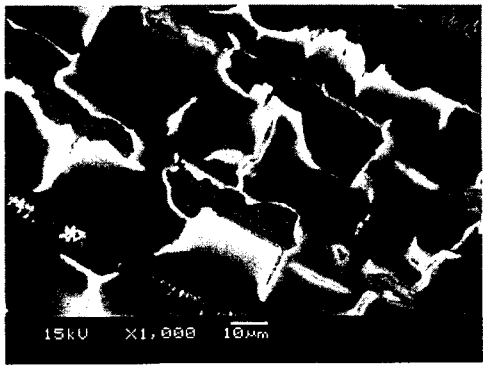


(a)

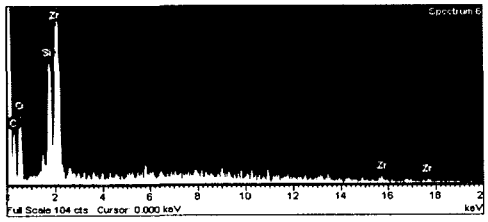


(b)

Fig. 3(a)Variation of specific wear rate with load at sliding speed of 70mm/s. (b)Variation of specific wear rate with load at sliding speed of 140mm/s



(a)



(b)

Fig. 4 (a) Worn surface of ZAC after sliding under 58.8N at sliding speed of 140mm/s. (b) EDS analysis of worn surface A region.

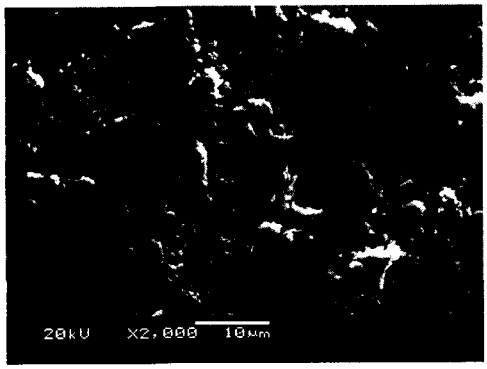
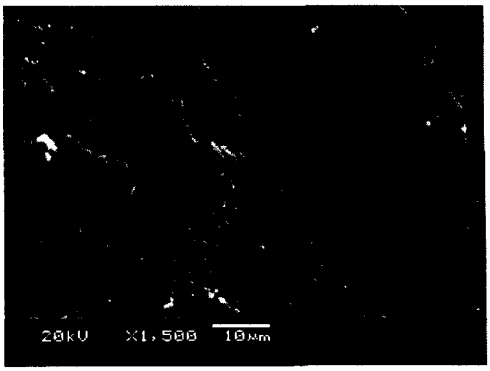
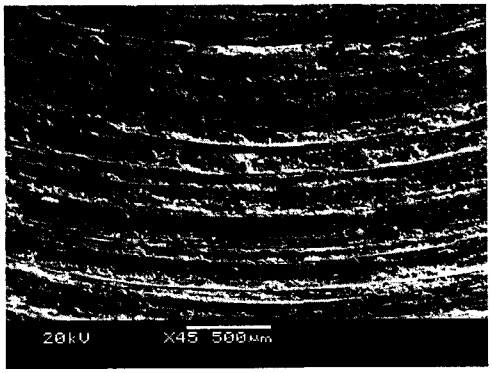


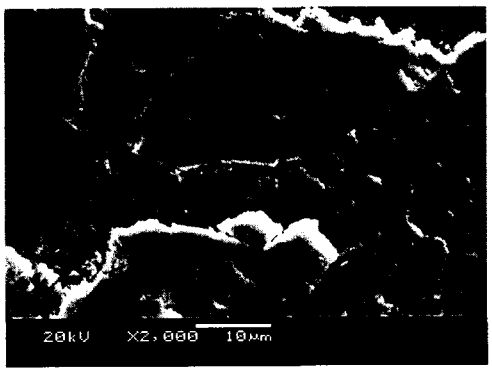
Fig. 5 Worn surface of ZAZ after sliding under 58.8N at sliding speed of 70mm/s



(a)



(b)



(c)

Fig. 6(a) Worn surface of ZAA after sliding under 19.6N. (b) Worn surface of ZAA after sliding under 98N. (c) Higher magnification of worn surface of ZAA after sliding under 98N