

〈技術論文〉

순도를 달리한 알루미나 세라믹스의 마멸과정 및 이의 기구에 관한 연구

전태옥* · 진동규**

(1994년 7월 4일 접수)

A Study on The Wear Process and Wear Mechanism of the Alumina Ceramics with Different Alumina Purity

Tae-Ok Jun and Dong-Kyu Jin

Key Words : Dry Wear Process(건조마멸과정), Wear Mechanism(마멸기구), Alumina Purity
(알루미나 순도), Wear Loss(마멸(량))

Abstract

The present study was undertaken to investigate the dry wear process and wear mechanism of the alumina ceramics in the purity variation which are used for the mechanical seal, roll, liner and dies. The wear test was carried out under different experimental condition using the wear testing device and in which the annular surface rubbed on dry sliding condition various sliding speed, contact pressure and sliding distance. In case of alumina purity 95%, there was speed range which wear loss increased rapidly owing to enlargement of heat impact force and temperature rise of wear surface. According as the alumina purity increased, wear loss decreased but alumina purity 85% with much void and defect had the most wear loss than any other alumina purity. The friction coefficient of sliding initial stage of wear curves has a large value but according to increase of sliding distance, it decreased owing to drop of the shear strength of wear surfaces.

1. 서 론

세라믹스는 내식성, 내열성, 저밀도, 내마멸성 등의 우수한 특성을 가지고 있다. 특히 고온경도가 높아 마멸하기 어렵다고 하는 성질은 내마멸재료로서 최적이며, 이들 성질을 이용하여 gear, bearing, nozzles 및 mechanical seal 등 기계의 운동부품 재료로서 수요가 날로 증가하고 있다.^(1~3) 이에 수반하여 세라믹스의 tribology에 관한 연구도 증가되고 있지만 그 기초적 연구는 금속에 비하여 훨씬

적고 마찰기구나 그 마멸특성에는 불분명한 점이 많다.⁽⁴⁾ 이는 세라믹스가 그 종류도 많고 각각의 재질에 따라서 표면흡착층 및 기계적 특성이 다르기 때문에 당연히 마찰변형 특성도 서로 다르게 되기 때문이라고 생각된다.

지금까지 세라믹스 또는 세라믹스와 금속과의 마찰, 마멸에 대한 연구로서 Ajayi와 Ludema⁽⁵⁾는 구조용 세라믹스인 SIC와 Al₂O₃의 마멸 mode에 미치는 현미경조직의 효과에 대하여 연구한 결과, 약한 결정입계를 가진 재료가 강한 입계를 가진 것보다 훨씬 손상의 영향이 크다고 하였다. Miyoshi⁽⁶⁾는 각종 금속재료에 대한 Si₃N₄, SIC의 진공중의 마찰실험에서 세라믹스와 금속사이의 응착과 마찰

*정회원, 동아대학교 기계공학과

**정회원, 부산전문대학 기계설계과

은 양자사이의 선단강도가 증가함에 따라서 감소한다고 하였다. 또한 세라믹스의 분위기 환경에 대한 연구로서 Sasaki⁽⁷⁾는 세라믹스의 마찰마멸에 미치는 분위기 습도 및 수분의 영향에 대한 연구로서 마찰면에 형성된 물의 흡착층 및 수산화물이 마찰에 큰 영향을 미친다고 보고하고 있다.

그러나 지금까지의 세라믹스의 마멸실험은 각종 세라믹스의 재질을 달리한 경우의 제특성을 규명하여 왔지만 전자, 기계부품 및 자동차부품 등의 구조용 세라믹으로 널리 사용되는 순도를 달리한 알루미늄이나 세라믹스의 마멸거동에 대한 연구는 아직 이루어지지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 저가격으로 가장 널리 이용될 가능성이 있는 순도를 달리한 알루미늄이나 세라믹스의 마찰, 마멸거동을 상세히 조사하여 각종 기계부품 및 자동차부품의 tribology 설계의 기초자료를 제시하는 것을 목적으로 하였다.

2. 실험방법

2.1 실험재료

본 연구에 사용한 실험재료는 상압 소결한 알루미늄이나 세라믹스(Al_2O_3 ceramics)이며, 그 순도는 각각 85%, 95% 및 99.7%로 달리한 3종류를 선택하였으며 Table 1에는 이들 3종류의 시험편의 물리적 및 기계적성질을 표시하였다. 세라믹스 재료는 일반적으로 가공이 곤란하므로 시험편의 형상은 단순한 것이 요망된다. 따라서 시험편은 Fig. 1과 같이 외경 22 mm, 내경 15 mm로 하였으며, 마찰면은 ring상이며 마찰형태는 평면과 평면의 미끄럼마

찰이 되도록 하였다. Fig. 1과 같이 실린더형의 시험편으로 실험을 하는 경우, 마찰면 전체에 균일한 접선력이 작용한다고 하여도 발생하는 torque는 회전반경에 따라 다르고 추정되는 torque는 이들의 적분치가 되므로 접선력을 면밀하게 구할 수는 없다. 따라서 축하중이 마찰면에 균등하게 작용하며, 반경방향으로의 상대 미끄럼속도의 차의 영향도 무시하고 접선력이 마찰면 전체에 균일하게 작용한다고 하면 계속된 torque로부터 접선력을 다음과 같이 계산할 수 있다. Fig. 2에 표시한 바와 같이 내반경을 r_1 , 외반경 r_2 라 하고, 마찰계수를 μ , 접촉

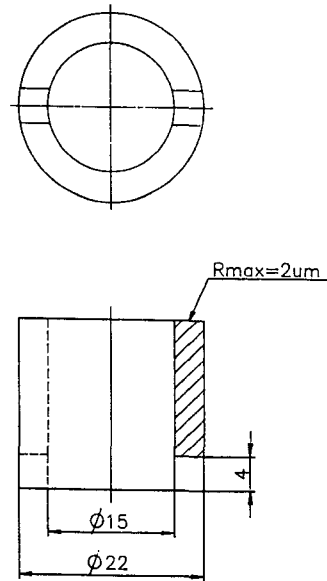


Fig. 1 Shape and dimension of wear specimen

Table 1 Physical and mechanical properties of Alumina ceramics

Properties	Alumina purity		
	85%	95%	99.7%
Specific gravity	3.5	3.7	3.9
Bending strength (kg_f/mm^2)	27	32	38
Compressive strength (kg_f/mm^2)	130~170	>200	>200
Young's modulus ($\times 10^4 kg_f/mm^2$)	2.1	3.2	4.0
Vickers hardness (kg_f/mm^2)	1228	1400	1690
Thermal conductivity ($cal \cdot cm/cm^2 \cdot sec \cdot ^\circ C$)	0.04	0.06	0.08

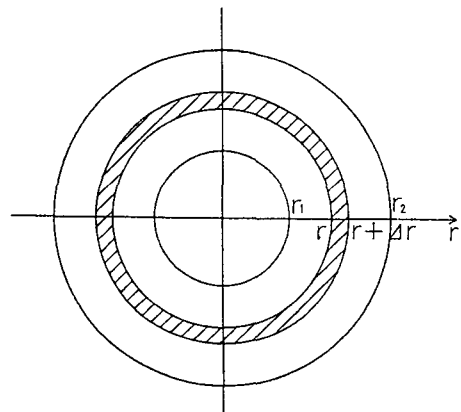


Fig. 2 Torque generated on the frictional surface

압력을 σ 로 하면 마찰면 전체에서 발생하는 torque T 는 식(1)과 같이 표시할 수 있다. 여기서,

$$T = \int_{r_1}^{r_2} \mu \cdot \sigma \cdot r \cdot (2\pi r) dr \quad (1)$$

작용하중 P 는

$$P = \int_{r_1}^{r_2} \sigma \cdot (2\pi r) dr \quad (2)$$

가 되며, μ 는 마찰면 전체에서 일정치를 취한다고 가정하므로

$$\mu = [T \int_{r_1}^{r_2} r^2 dr] / [P \int_{r_1}^{r_2} r^2 dr] \quad (3)$$

으로 표시할 수 있다. 이것을 일반의 마찰계수 $\mu = F/P$ 와 비교하면 접선력

$$F = T/r_{eq} \quad (4)$$

이 된다. 여기서,

$$r_{eq} = [\int_{r_1}^{r_2} r^2 dr] / [\int_{r_1}^{r_2} r dr] \quad (5)$$

이다. 이것은 측정된 torque를 r_{eq} 로 나누면 접선력이 얻어진다는 것을 표시하고 있다. 따라서 본 실험에서 미끄럼속도와 미끄럼거리에 따라 마찰계

수 μ 는 모두 반경 r_{eq} 에 대하여 계산한 값으로 하였다.

2.2 실험장치 및 실험방법

Fig. 3은 본 실험에 사용한 시험기의 개요도를 나타낸 것이다. 실험전 시험편은 마찰면 edge부가 실험중 chipping으로 인한 중량감소를 줄이기 위하여 diamond 줄로 rounding을 준 후 emery paper #1200으로 연마하여 그 표면조도를 $R_{max}=2 \mu m$ 로 일정하게 하였다. Fig. 3에서처럼 고정부에 부착한 상부시험편은 상대재료인 순도 99.7%를, 회전부에 부착한 하부시험편에는 순도를 달리한 실험재료를 부착하여 각 실험조건에 따라 대기중 건조마찰실험을 수행하였다. 이때의 마찰력은 스트레인게이지가 부착된 판spring을 통하여 증폭기로 증폭하여 선형 기록계로 그 출력파형을 검출하여 산출하였다.

그리고 회전속도변환은 모터를 이용하여 V-belt로 구동시켜 이를 invert로 무단구동시켜 변환하였다. 실험조건으로서 미끄럼속도를 0.1 m/sec~0.7 m/sec까지 변화시켰으며 접촉하중은 중심축에 하중을 가하여 5 kgf~10 kgf까지 2.5 kgf씩 상승시켰다. 또한 미끄럼거리는 100 m에서 2 km까지 단계적으로 변화시켰다. 여기서 미끄럼속도를 0.7 m/sec까지 한 것은 그 이상의 미끄럼속도에서는 열충

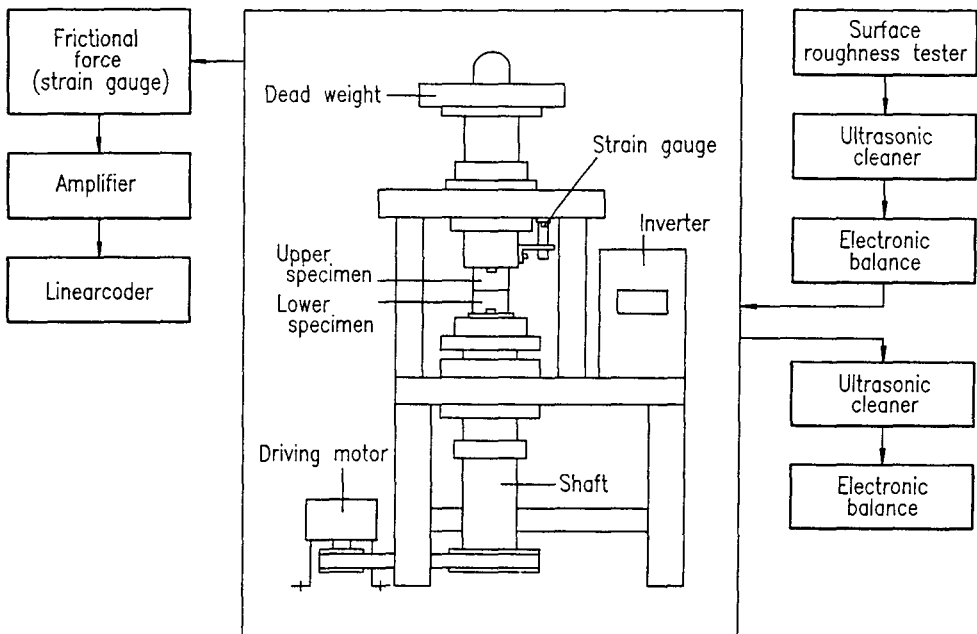


Fig. 3 Diagram of experlmental apparatus

격에 의한 열점이 생겨 고하중에서 시험편의 실험 중 파손이 일어났기 때문이다.

순도를 달리한 각 시험편의 경도치는 마이크로비커스 경도계를 이용하였으며, 실험후 마멸체적(mm³)은 0.1mg의 디지털천칭을 사용하여 실험전후의 중량감소량을 측정하고 이를 시험편의 비중을 이용하여 환산하였다. 그리고 주사전자현미경을 사용하여 각 실험조건에 따른 마찰면 및 그 수직단면의 마멸과정을 자세히 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 마멸률 및 마찰계수에 미치는 미끄럼속도특성

Fig. 4는 상대재료를 순도 99.7%, 실험재료를 95%로 한 경우, 접촉하중 P 를 5 kgf, 7.5 kgf 및 10 kgf로 하고 미끄럼거리 L 을 1 km로 일정하게 하였을 때 미끄럼속도 V 의 변화에 따른 상대재와 실험재의 마멸체적 W (mm³)을 나타낸 것이다. 여기서 백점은 상대재의 W 를, 흑점은 실험재의 W

를 표시한다. 그림에서처럼 미끄럼속도 V 의 변화에 따라 순도 99.7%인 실험재의 마멸량이 상대재인 99.7%의 것보다 크게 나타나며, V 의 증가에 따라 W 는 서서히 증가하지만 접촉하중 P 가 5 kgf인 경우 V 가 0.5 m/sec에서, 7.5 kgf에서는 0.4 m/sec, 그리고 10 kgf에는 0.3 m/sec 이상의 속도역에서의 W 는 급격히 증가하고 있다는 것을 알 수 있다.

각 접촉하중에 따라 마멸량 W 가 서서히 상승하는 속도역에서는 양 시험편의 접촉부가 소성유동에 의한 윤향효과가 지배적으로 작용하기 때문이며, W 가 급격히 상승하는 속도역에서는 마찰속도의 증가에 따른 충격력의 증대 및 마찰면 온도의 상승에 따른 재료의 연화가 진행되었기 때문이라고 생각된다. 특히 세라믹스의 경우 크랙의 생성은 충격력 및 전단에너지에 의존하므로 W 가 급격히 상승하는 속도역에서는 마찰속도의 증가에 따라 크랙 생성속도가 증가하여 격렬한 마멸이 일어나 이로 인하여 표면 보호층이 결여된 상태하에서 마찰의 계속에 의하여 마멸이 촉진된다고 생각된다. 그리고

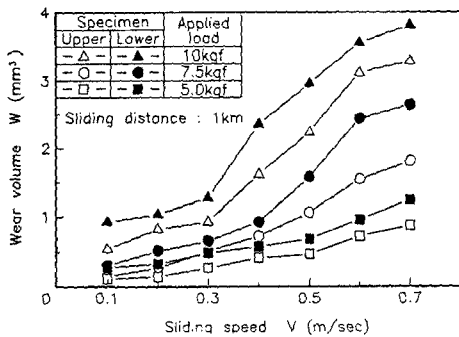


Fig. 4 Relation between wear volume and sliding speed

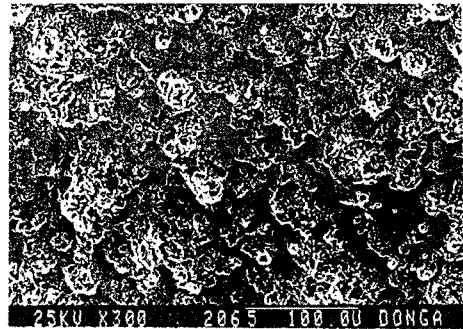
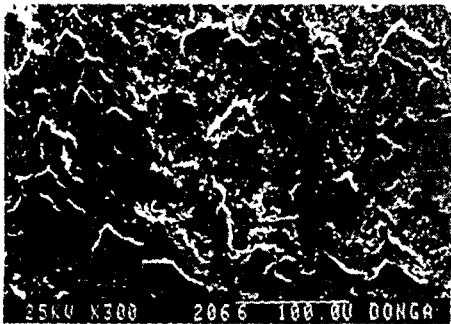
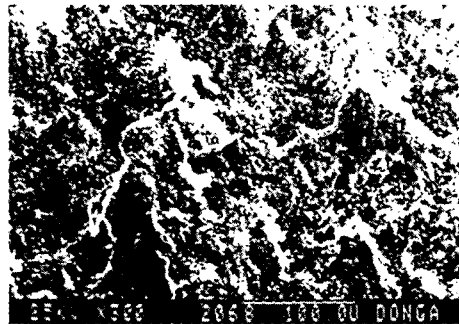


Fig. 5 Polished specimen surface of the alumine purity 95%



(a) $V=0.2$ m/sec



(b) $V=0.5$ m/sec

Fig. 6 Photographs of the rubbed surface; $P=7.5$ kgf, $L=1$ km

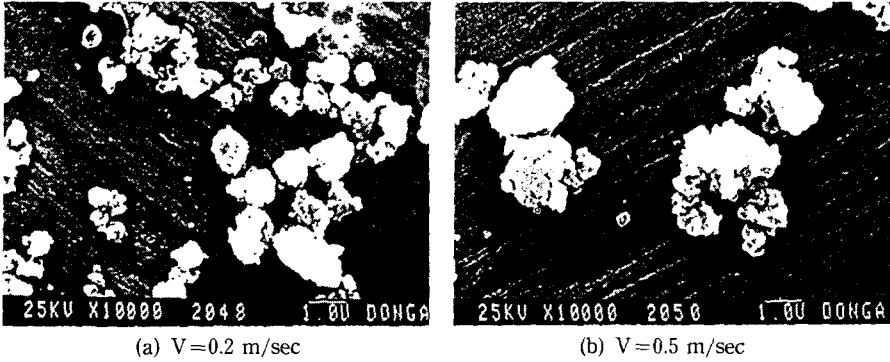


Fig. 7 Photographs of separated wear debris ; P=7.5kgf, L=1 km

표면층은 항상 마멸에 의하여 제거되어 새로운 면이 생성되므로 대기중의 수분 등의 흡착은 일어나기 어렵게 되어 있다고 생각된다. 물론 청정한 표면에 기체의 흡착층이 형성되는데 요하는 시간은 상당히 짧고, (8) 마찰면의 표면조도로 인하여 양 시험편의 돌기부가 고체접촉을 하지 않는 시간은 흡착층을 형성하는데 충분하다고 생각되지만 원판 시험편이 대기에 노출되어 있는 편-원판 시험방식에 비하여는 흡착의 영향은 적다고 생각된다. 그리고 본 실험에 이용한 시험편은 마찰면이 ring 상으로 마찰시 항상 전면이 접촉하고 있고 하중도 비교적 크기 때문에 마찰면이 대기에 직접 접촉하기 어렵고, 또한 마찰시 발생하는 마찰열이 제거되기 어려워 마찰면 온도의 상승이 조속히 일어난다고 생각된다. 이처럼 마찰면 온도상승은 응착면의 전단강도를 저하시켜 마멸을 촉진시킨다고 생각된다.

Fig. 5는 실험전 순도 95%의 polishing한 시험편 표면의 주사전자현미경 사진을 나타낸 것으로서 표면에 시험편의 제조 및 표면가공에 의한 결함부를 볼 수 있다.

Fig. 6은 접촉하중을 7.5 kgf로 한 경우 미끄럼속도의 변화에 따른 마찰면을 나타낸 것으로서 (a) V가 0.2 m/sec의 경우는 전 마찰면 표면에는 소성유동이 지배적으로 작용하고 있는 것을 볼 수 있지만, (b) V=0.5 m/sec인 경우 공극이나 표면의 결함부로부터 균열이 발생하여 이것이 마멸분으로 탈락된 흔적 및 응착으로 인하여 미끄럼방향으로 groove가 형성되어 있다는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 Fig. 6의 두가지 속도변화에서 채취한 마멸분을 나타낸 것이다. 그림에서 (a) V가 0.2 m/sec 및 (b) 0.5 m/sec의 경우 모두 마멸분의 형상은 입자상의 형태를 나타내지만 W가 급격히 증

가한 상태의 속도인 (b)의 마멸분이 1 μm 정도의 크기를 가진 저속인 (a)의 경우보다 그 크기가 2~3배 정도로 크게 형성되어 있는 것을 볼 수 있다. 이처럼 세라믹스의 마멸은 V의 증가에 따라 전술한 바와같이 온도상승으로 인한 열충격의 작용에 의한 취성파괴로 마멸이 진행된다는 것을 알 수 있다. 이것은 재질을 달리한 각종 세라믹스의 마멸시 일어나는 파괴형태와 동일한 마멸거동을 나타내고 있다고 생각된다.

마찰계수는 접촉면의 상태에 대응하여 결정되므로 마찰계수의 급격한 변화는 접촉면의 상태가 급격히 변하고 있다는 것을 표시하고 있다. Fig. 8은 Fig. 4의 실험조건에서의 마찰계수 μ를 나타낸 것이다. 여기서, 마찰계수 μ는 실험중 각 미끄럼속도에서 진폭의 최대치와 최소치가 불규칙하게 나타났지만 본 실험에서는 실험종료 직전에 측정된 값의 평균치를 찾아 이를 이용하여 식(4)에서 구한 마찰력을 접촉하중으로 나눈 값으로 하였다. 그림에서 접촉하중 P가 5 kgf인 경우 V가 0.3 m/sec

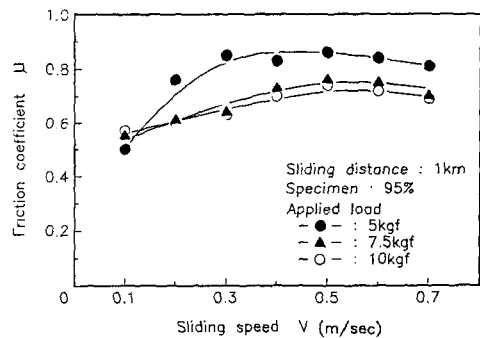


Fig. 8 Effect of sliding speed on the friction coefficient

까지의 저속역에서, 7.5 kgf 및 10 kgf인 경우는 V 가 0.5 m/sec까지의 속도역에서는 μ 가 증가하고 있지만 그 이상의 속도역에서는 조금씩 감소하고 있다는 것을 알 수 있다. 또한 V 가 0.2 m/sec 이상의 속도역에서 7.5 kgf 및 10 kgf의 μ 가 5 kgf의 μ 값보다 적은 값을 나타내고 있다. μ 가 증가하고 있는 저속역에서는 고속역에서 보다 μ 가 적은 값을 나타내는 것은 마찰실험 전에 연마로 인한 표면 가공시 이미 표면에 강고한 대기중의 흡착층 또는 수산화물이 형성되어 이것이 모재간의 접촉을 방지하게 되는 윤활작용을 하기 때문이라 생각된다. 특히 Al_2O_3 는 평형 수증기압이 10^{-4} mmHg 정도로 매우 낮아 공기중의 미세한 수분에도 흡착성이 매우 강하여⁽⁹⁾ 마찰면에 대기중의 수분이 쉽게 흡착되며, 또한 저속의 경우에는 양 시험편의 미소돌기부가 접촉에서 다음 접촉을 하는데 요하는 시간이 고속의 경우보다 길기 때문에 이러한 현상이 계속 유지된다고 생각된다.

그리고 P 의 증가에 따라 0.2 m/sec 이상의 각 속도역에서 μ 가 적은 값을 나타내는 것을 P 의 증가에 따라 마찰면온도의 상승으로 응착면의 전단강도의 저하가 크기 때문이라 생각된다.

3.2 마멸에 미치는 알루미늄이나 순도특성

Fig. 9는 상대재료를 순도 99.7%, 실험재료의 순도를 달리한 즉 85%, 95% 및 99.7%로 한 경우, 접촉하중 P 를 7.5 kgf로 하고 미끄럼거리 L 를 1 km로 하였을 때의 미끄럼속도 V 의 변화에 따른 마멸량을 나타낸 것이다. 여기서 역시 백점은 상대재의 W 를, 흑점은 실험재의 W 를 표시한다.

그림에서처럼 상대재 및 실험재는 순도에 관계없이 모두 V 의 증가에 따라 증가하며, 실험재의 마멸량 W 는 순도가 적을수록 크게 상승한다는 것을 알 수 있다. 본 실험의 경우 순도가 큰 상대재의 W 가 실험재의 W 보다 대체로 적게 나타나지만 순도 85%의 W 는 상대재와 더불어 큰 상승을 보이며, 또한 마멸량은 오히려 상대재인 순도 99.7%가 실험재보다 크게 나타나 있는 것을 볼 수 있다.

W 는 순도가 작을수록 크게 증가하는 것은 각 실험재료의 탄성계수 및 열전도율의 차이에 기인한다고 생각된다. 이것은 Table 1에서처럼 탄성계수 및 열전도율이 낮은 시험편일수록 마찰시 발생하는 열이 방산되기 어려우므로 국부적 및 순간적인 온도상승이 일어나 접촉점이 일정한 온도에 도달하는

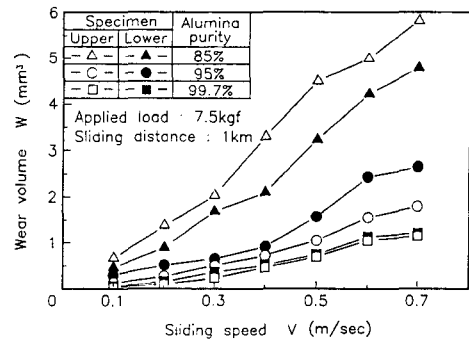
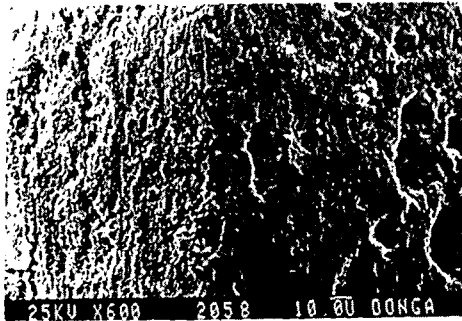


Fig. 9 Relation between wear volume and sliding speed

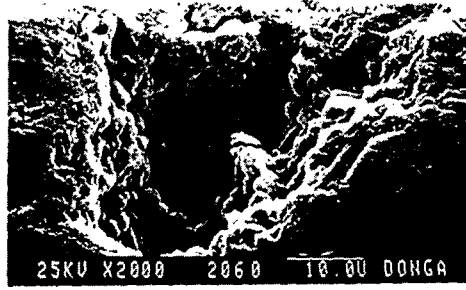
데 필요한 단위시간당 발열량이 적게되어 마찰면의 강도가 저하하기 때문이라고 생각된다. 이러한 현상은 재질을 달리한 각종 세라믹스, 즉 SiC, Si_3N_4 , Al_2O_3 및 ZrO_2 에 대한 SM45C와 SiN_4 와의 마찰실험^(9,10)의 경우에서도 역시 탄성계수 및 열전도율이 가장 낮은 ZrO_2 이 열충격으로 인한 응력으로 높은 마멸율을 나타내는 것과 일치하는 현상이다. 그리고 순도 85%의 경우, 상대재인 99.7%의 W 가 더 큰 값을 나타내는 것은 순도 85%의 알루미늄이나 세라믹스는 순도 99.7%보다 공극 및 제조상의 결함이 99.7%보다 훨씬 크고 그 수가 많기 때문에 상부 시험편인 순도 99.7%의 미세한 마멸분이 하부 시험편인 순도 85%의 공극 및 결함부로 전이하여 이들을 채우게 되고 또한 이들이 의하여 상대재의 마멸이 계속 진행되었기 때문이라고 생각된다.

금속의 마찰실험에서는 마멸분이 산화되어 경도가 모재보다 높게 되므로 마멸분의 체유가 abrasive 마멸을 가속화한다는 마멸기구에 대한 모델이 있지만 알루미늄이나 세라믹스의 경우는 화학적으로 인정하며 또한 생성된 마멸분도 역시 모재의 시험편과 동일한 α -알루미늄이고 경도의 차는 없다고 생각된다. 그러나 마멸분의 체유가 마멸에 큰 영향을 미친다는 것은 경험적으로 알려지고 있지만⁽¹¹⁾ 그 기구는 분명하지는 않다.

Fig. 10은 상대재료를 순도 99.7%, 실험재료의 순도를 85%로 한 경우 P 를 7.5 kgf, V 를 0.3 m/sec 그리고 L 를 1 km로 한 경우 (a) 마찰면 및 수직단면의 stereo 사진과 (b) 제조상의 결함부 수직단면을 나타낸 것이다. (a)의 경우 마찰면에는 공극 및 결함부에 상대재 및 실험재의 마멸분이 충전되어 있고 미세한 균열이 나타나 있는 것을 볼



(a) Stereo photograph



(b) Cross section

Fig. 10 Stereo photograph and cross section of the rubbed surface for the alumina purity 85% specimen ; P=7.5 kgf, V=0.3 m/sec, L=1 km

수 있다. 그리고 수직단면에는 제조상 결함부가 큰 pit모양으로 형성되어 있지만 (b)결함부 수직단면부는 Al₂O₃의 입자를 볼 수 있고, 또한 공극 및 결함부 표면에서 응력집중⁽¹²⁾에 의하여 결정입계에서 균열이 발생, 전파하여 마멸이 진행되고 있다는 것을 알 수 있다.

3.3 순도를 달리한 알루미나 세라믹스의 마멸 진행곡선

Fig. 11은 상대재료인 상부시험편을 순도 99.7%, 실험재료인 하부시험편은 각 순도를 달리한 즉 85%, 95% 및 99.7%로 한 경우, 접촉하중 P를 7.5 kgf로 하고 미끄럼속도 V를 0.3 m/sec로 하였을 때, 미끄럼거리 L의 변화에 따른 마멸량 W를 나타낸 것이다.

그림에서처럼 마멸량 W는 순도를 달리한 각 시험편 모두 L의 증가에 따라 거의 직선적으로 증가하며, 특히 순도 85%의 W가 95% 및 99.7%의 W보다 훨씬 크다는 것을 알 수 있다. 본 실험의 경우처럼 접촉하중과 미끄럼속도가 동일하면 L의 증가에 따라 마찰면 평균온도가 상승하게 되는 것은 당연하다고 생각되며, 특히 Al₂O₃에 대하여 마찰면 온도상승은 탄성계수⁽¹³⁾와 경도⁽¹⁴⁾를 저하시킨다고 알려져 있다. 따라서 순도를 달리한 각 시험편의 W가 L에 따라서 증가하는 것은 L의 증가에 따라 접촉부의 온도가 상승하고 이로 인하여 탄성계수와 경도의 저하로 재료의 연화가 진행되었기 때문이라고 생각된다. 그리고 순도 85%의 W가 L에 따라 크게 증가하는 것은 전술한 바와 같이 탄성계수 및 열전도율이 적으므로 열축적에 의한 마멸저항이 감소되어 마멸을 증대시켜 준것으로 생각

된다.

Fig. 12는 Fig. 11과 동일한 조건에서의 L에 따른 마멸계수 K를 나타낸 것이며 K는 다음식으로 구하였다.

$$K = (W \cdot H_v) / (P \cdot L) \tag{6}$$

여기서, W는 마멸체적(mm³), H_v는 각 실험재료

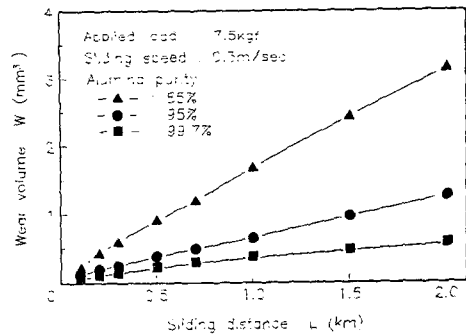


Fig. 11 Wear curve in wear volume with sliding distance

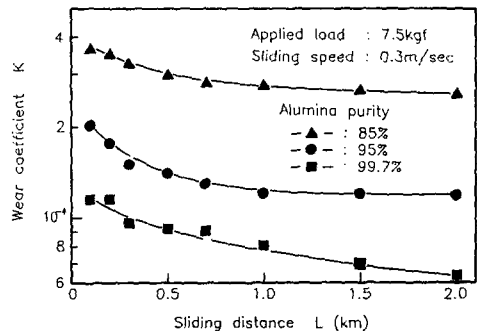


Fig. 12 Effect of sliding distance on the wear coefficient

의 경도, P 는 접촉하중(kgf) 그리고 L 은 미끄럼 거리(m)을 나타낸다. 그림에서 K 는 L 의 증가와 함께 감소하고 있지만 순도 99.7%가 그 경향이 크다는 것을 볼 수 있다. 이것은 실점측점에서의 온도상승으로 인하여 국부적인 용융을 포함한 체류마멸분의 재소결의 가능성으로 생각되지만 확실하지는 않다.

Fig. 13은 L 에 따른 마찰계수 μ 를 나타낸 것이다. μ 는 각 알루미늄 순도에 따라 L 의 초기단계에서는 0.87~0.66 정도의 큰값을 나타내지만 L 의 증가와 함께 서서히 감소하며, 실험이 종료되는 미끄럼거리에서는 0.5~0.61 정도의 값을 나타내고 있다. 그리고 순도 85%의 시험편의 μ 가 대체로 큰 값을 나타내며, L 이 700 m 이상에서의 μ 는 순도 85%의 시험편이 오히려 순도 95% 및 99.7%보다 작다는 것을 볼 수 있다.

각 시험편에 있어서 마찰 초기단계에서 μ 가 큰 값을 나타내는 것은 이 단계에서는 마찰면 온도가 낮기 때문에 마찰면의 강도저하는 적다고 추정된다. 이 결과 응착면의 전단강도가 크며, 또한 이 단계에서는 실점측면적도 작아 실점측부의 접촉압력이 극히 높아 이로 인하여 응착면에 작용하는 전단응력이 크기때문이라고 생각된다. 그리고 L 의 증가와 함께 μ 가 감소하는 것은 L 의 증가와 더불어 마찰면 온도가 상승하여 응착면의 전단강도를 저하시켜 마찰면 근방의 유동층의 영향이 작용했기 때문이라 생각된다. 이러한 현상은 금속재료에서도 마찰면의 연화에 의하여 전단응력이 완화되어 마찰계수가 저하하게 되며, ⁽¹⁵⁾ 또한 Semenov와 Katsura 등⁽¹¹⁾은 진공중에서 Al_2O_3 의 마찰계수를 측정하고 온도의 상승과 더불어 마찰계수의 감소는 경도의

저하와 관련한다고 서술하고 있다.

그리고 미끄럼거리 초기단계에서 순도 85%의 μ 가 큰 값을 나타내는 것은 마찰 초기단계에서는 마찰면의 크기에 의존하지만, L 이 700 m 이상에서 순도 85%의 μ 가 순도 95% 및 99.7%의 μ 보다 작게 나타나는 것은 L 의 증가에 따른 마찰면 온도상승으로 탄성계수 및 열전도율이 작은 순도 85%의 시험편의 마찰면 온도상승으로 인한 전단강도 저하가 훨씬 크기 때문이라고 생각된다.

4. 결 론

순도를 달리한 알루미늄 세라믹스(Al_2O_3 ceramics)의 마멸과정 및 이의 기구를 알기위하여 미끄럼속도, 접촉하중 및 미끄럼거리를 변화시켜 마멸량, 마찰계수 및 마멸계수 등을 조사하여 미끄럼 마멸실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 알루미늄 순도 95%의 경우 미끄럼속도가 증가 할 수록 마멸량 W 는 증가하며, 열충격력의 증대 및 마찰면 온도상승으로 인하여 W 가 급속히 증가하는 속도구역이 존재한다.
- (2) 미끄럼속도의 변화에 따라 알루미늄 순도가 증가 할수록 W 는 감소하지만 순도 85%의 경우 공극 및 결함부의 증대로 상대체인 순도 99.7%보다 W 는 적다.
- (3) 순도를 달리한 3종류의 세라믹스에 있어서 W 는 미끄럼 회전수에 거의 비례하여 증가하지만, 순도 85%의 경우가 탄성계수 및 열전도율의 저하로 W 가 가장 크다.
- (4) 마멸진행 곡선에서 미끄럼 초기단계의 마찰계수는 큰 값을 가지지만 미끄럼거리가 증가함에 따라 응착면의 전단강도 저하로 그 값은 감소한다.

참고문헌

- (1) Ajayi, O. O., Erdemir, A., Hsieh, J. -H. and Erck, R. A., 1993, "Boundary Film for Structural Ceramic Materials," *Wear*, 162~164, pp. 1150~1155.
- (2) Zum Gahr, K. -H., Bundschuh, W. and Zimmerlin, 1993, "Effect of Grain Size on Friction and Sliding Wear of Oxide Ceramics," *Wear*, 162-164, pp. 269~279.
- (3) Kano, M. and Tanimoto, I., 1991, "Wear Resis-

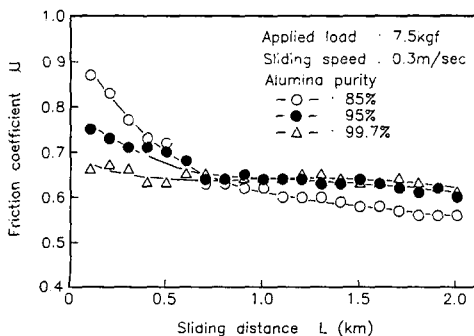


Fig. 13 Effect of sliding distance on the friction coefficient

- tance Properties of Ceramic Rocker Arm Pad," *Wear*, 145, pp. 153~165.
- (4) 石恒博行, 1985, "セラミックスの摩擦について," *潤滑*, 第30巻, 第9號, pp. 627~632.
- (5) Ajayi, O. O. and Ludema, K. C., 1992, "The Effect of Microstructure on Wear Modes of Ceramic Materials," *Wear*, 154, pp. 371~385.
- (6) Miyoshi, K., 1990, "Fundamental Considerations in adhesion Friction and Wear for Ceramic-Metal Contacts," *Wear*, 144, pp. 35~44.
- (7) Sasaki, S., 1978, "The Effects of Water on Friction and Wear of Ceramics," *JSLE*, 33, 8, pp. 620~628.
- (8) 西村允, 1982, "眞空とトライボロジ-," *機械學會誌*, 第29巻, 第848號, pp. 800~806.
- (9) 久門輝正, 猿谷信之, 1992, "高速摩擦におけるセラミックスの摩耗特性," *トライボロジスト*, 第37巻, 第5號, pp. 397~404.
- (10) 宇佐美初彦, 般橋鉀一, 中村 隆, 馬淵英二, 1989, "セラミックスの摩擦實驗(第1報)," *トライボロジスト*, 第34巻, 第6號, pp. 458~464.
- (11) Semenov, A. P. and Katsura, A. A., 1979, "Investigation of friction and Wear of Corundum Ceramics at Temperatures to 1500°C," *Proc., 2nd Int. Conf., Wear of Mater., ASME*, pp. 551~555.
- (12) 金石三, 加藤康司, 堀切川一男, 1986, "アルミナセラミックスの焼付きと摩耗特性," *潤滑*, 第31巻, 第5號, pp. 329~335.
- (13) Morrell, R. 1987, "Handbook of Properties of Technical and Engineering Ceramics," Part 2, *HMSO.*, p. 80.
- (13) 志村好男, 水谷嘉之, 1985, "セラミックスの高温摩耗," *潤滑學會29期 春季發表會豫稿集*, pp. 173~176.
- (15) 田部浩三, 清水哲名, 笛木和夫, 1986, "金屬酸化物と複合酸化物," *講談社*, pp. 75~76.