

고체윤활제 Cu₂S첨가 청동의 미끄럼 마찰마모특성 연구

이한영(계명대학교 재료공학과), 김태준*, 조용재*(계명대학교 재료공학과)

A Study of Sliding Friction and Wear Properties of Bronze added Cu₂S as Solid Lubricants

Hanyoung Lee(Materials Eng. Dept., Keimyung Univ.)e-mail:lhy@kmu.ac.kr
Taejun Kim, Yongjae Cho(Materials Eng. Dept., Keimyung Univ.)

ABSTRACT

MoS₂ is a well-known metal sulfide applied as solid lubricants and an additive to prolong the life of sintered bearings under severe conditions. However, the high price of MoS₂ limited its wide application. This study is aimed to investigate the possibility for application to solid lubricants for Cu₂S as a substitute of MoS₂. Bronzes added Cu₂S and MoS₂ are produced by powder metallurgy in this study, and then evaluated their friction and wear properties. The sliding wear test using pin-on-disc type machine, was conducted at several sliding speeds for three type test pieces, bronze and bronzes added Cu₂S/MoS₂. Addition of Cu₂S to bronze leads to relatively good friction and wear properties, although it is not so good as addition of MoS₂. But the properties of bronze added Cu₂S would be not suitable for the condition under the high sliding speed.

Key word : Solid lubricants, Cu₂S, MoS₂, Sliding wear and friction, Powder metallurgy

1. 서론

일반적으로 금속의 황화물은 용점 및 전단강도가 낮아 고체윤활성이 우수한 것으로 알려져 있다¹⁾. 이중 MoS₂는 대표적인 고체윤활제로 알려져 널리 사용되고 있다. 이는 MoS₂가 윤활막을 형성, 마모를 줄이고 안정된 마찰특성을 나타내기 때문이다. 특히 Oilless bearing 등과 같이 분말야금공법으로 첨가되는 MoS₂는 초기 마찰특성을 좋게 하고 저온에서 양호한 마모특성을 가지는 것으로 알려지고 있다. 그러나 MoS₂는 이러한 우수한 특성에도 불구하고 고가인 점이 사용상의 커다란 걸림돌로 작용하고 있다.

이와 유사한 금속의 황화물 예를 들어 Cu₂S, PbS, SnS 등도 마찰특성을 개선하고 마찰계수를 안정화하는 것으로 알려져

있다²⁾³⁾. 그러나 이들의 영향에 대해서는 MoS₂와 달리 거의 알려져 있지 않다²⁾. 이것은 고순도의 이들 금속 황화물 제조가 불가능하였기 때문으로 추정된다.

최근 소재생산에 연소합성기술이 도입되면서 지금까지 제조가 난해하였던 여러 종류의 화합물들이 손쉽게 얻을 수 있게 되었다. 이러한 기술적 배경으로 여러 금속 황화물의 제조도 시도되어 경제성이 있는 소재개발이 가능케 되었다.

본 연구에서는 고체윤활성이 높을 것으로 예상되는 Cu₂S 분말을 ball mill에서 기계화학적 방식으로 연소합성을 일으켜 제조하고, 이 Cu₂S를 청동에 첨가하여 MoS₂가 첨가된 청동과의 마찰마모특성을 비교하였다. 이러한 결과를 토대로 고체윤활제로서의 Cu₂S의 적용가능성을 검토하였다.

2. 시험방법

2-1 시험편

본 연구에서는 금속 황화물 Cu_2S 의 고체 윤활성을 조사하기 위하여 Cu-10%Sn 조성의 청동혼합분말에 Cu_2S 분말을 1.5%첨가(이하 BC재)하였다. 비교재로 MoS_2 분말을 1.5% 첨가한 시편(이하 BM재)과 고체윤활제를 전혀 첨가하지 않은 Cu-10%Sn 조성의 청동시편(이하 B재)도 제작하였다. 이때 사용된 Cu_2S 분말은 Ball mill에서 Machanochemical Process로 제조한 것이며 MoS_2 는 시판되는 분말을 사용하였다. 이들 분말의 입도는 D50로 Cu_2S 가 $5.26\mu m$, MoS_2 가 $1.88\mu m$ 정도인 것으로 확인되었다.

이들 시편은 각기 소정의 혼합량을 칭량, 20ton 성형프레스를 이용하여 $\varnothing 12.6 \times 15mm$ 사이즈로 압분체(성형밀도 $7.32 \sim 7.35 g/cm^3$)로 제작하였다.

성형된 압분체는 암모니아 분위기하에서 mesh-belt type의 로를 이용하여 $760^\circ C$ 에서 20분간 소결을 하였다.

Table 1에 소결 후 시편의 밀도 및 경도를 나타내었다. 경도 및 밀도는 BM재가 가장 큰 것으로 확인되었으나 현저하지는 않다.

마모 시편은 최종 $\varnothing 6 \times 5mm$ 의 크기로 기계가공을 하여 제작하였다.

Table. 1 Density and hardness of testpiece before test

	B	BM	BC
Density (g/cm^3)	6.91	7.15	6.92
Hardness (HRB)	38.3	45.5	41.6

2-2 마모시험

본 연구에서의 마모시험은 Pin-on-disc type의 미끄럼마찰마모시험기⁴⁾를 이용하였다. 이때 시험하중은 500g의 단일 하중에서 접촉부의 선속도를 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 그리고 6.0 m/s, 5종류로 변화시키면서 각 속도에서 최대마찰거리 5km 까지 시험하였다. Table. 2에 마모시험 조건을 나타내었다. 이때 시험편 및 상대재는 시험 전 마모면을 #400 abrasive paper로 연마하여 거칠기를 통일시켰다. 또한 모든 시험은 상온에서 무윤활 조건으로 행하였으며, 소정의 거리마다 시편의 중량감소를 측정하여 마모량을 산출하였다.

마찰계수의 측정은 상대재 하부에 장착된 torque meter를 이용하여 소정의 거리마다 상대재에 작용하는 torque의 변화를 측정하여 마찰계수의 변화를 산출하였다. 본 연구에서는 이러한 구간별 마찰계수 변화에서 각 거리구간별 평균마찰계수를 산출, 사용하였다.

상대재는 시판되는 STS 420 J2(KS)를 사용하여 $\varnothing 80 \times 8mm$ 의 사이즈로 가공하고 소정의 열처리하였다. 이들의 열처리 후 경도는 H_RC 38~40인 것으로 확인되었다.

Table 2. Experimental conditions of sliding wear and friction test

Test machine type	Pin-on-disc
Load (g)	500
Speed (m/s)	0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0
Sliding distance	5 km
Temperature	Room temperature
Lubricants	Dry
Counter material	STS 420J2

3. 실험결과 및 고찰

3-1 마모특성

Fig. 2에 미끄럼 마찰거리에 따른 각 시편의 마모량의 변화를 나타내었다. 그 결과 마모경향은 속도 및 거리에 따라 마모정도는 상이하나 전반적으로 거리가 증가할수록 마모량이 증대하는 일반적인 경향임을 알 수 있다. 이러한 결과에서 초기 마모영역과 정상마모영역을 구분하여 각 영역별로 시험 속도에 따른 각 시편의 마모율을 Fig. 3에 나타내었다.

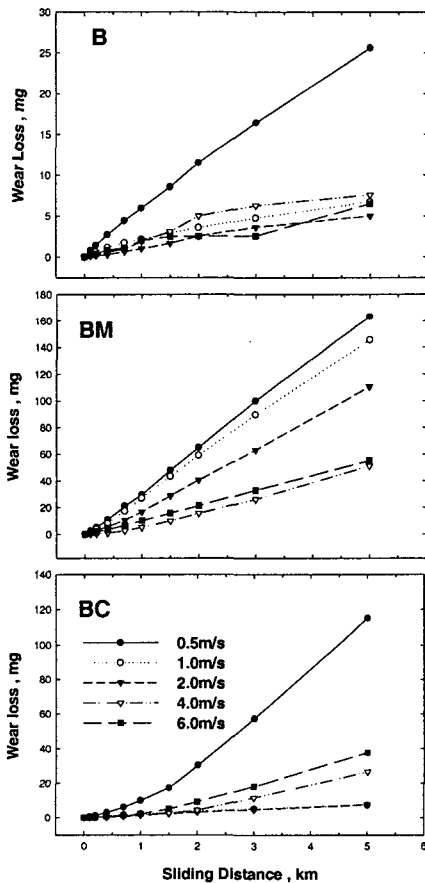


Fig.2. Wear characteristics as a function of sliding distance at several sliding speeds.

Fig.3 에서 보듯이 전반적으로 초기마모 영역 및 정상마모영역에서 MoS₂첨가 청동 (BM재)이 가장 높은 마모율을 나타내고 아무것도 첨가하지 않은 B재가 가장 낮은 것을 알 수 있다. Cu₂S를 첨가한 BC재는 이들 중간정도의 특성을 보이고 있다.

BM재의 경우 속도가 증가함에 따라 마모율이 현저히 감소하나 B재의 경우는 저속에서 마모율이 다소 크나 이외의 속도에서는 거의 변화가 없음을 알 수 있다. BC재의 경우 초기마모영역에서는 B재와 거의 유사하다. 그러나 정상마모영역의 0.5m/s에서 아주 크고 1~2m/s에서 급감을 한 후 이상의 속도에서 증가하는 경향인 것을 알 수 있다.

이러한 마모특성의 변화는 마모형태와 관계하는 것으로 생각된다.

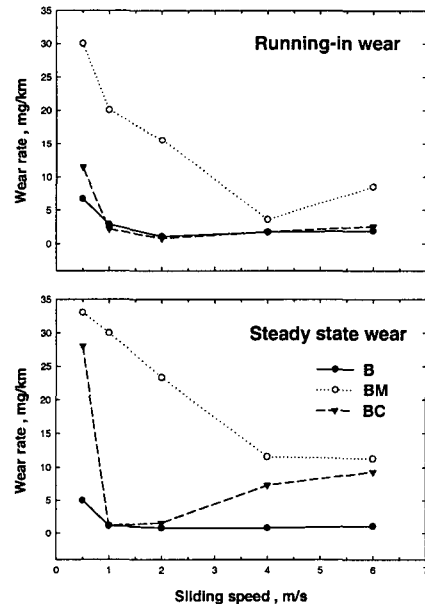


Fig.3. Wear characteristics as a function of sliding speed for each specimen

3-2 마찰특성

Fig. 4에 각 시편에 대해서 여러 속도에 서 미끄럼 거리에 따른 마찰계수 변화를 나타내고 있다. 전반적으로 마찰계수는 어느

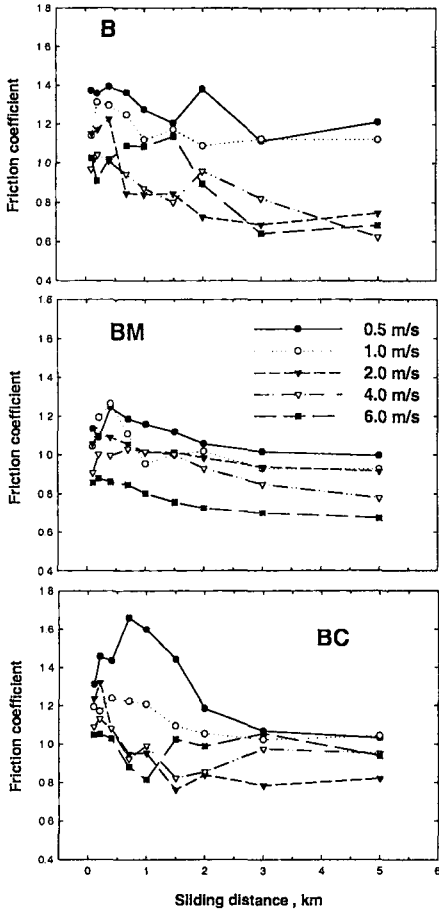


Fig.4 Change of friction coefficient with sliding distance

것도 거리가 증가함에 따라 감소하는 경향을 알 수 있다.

거리에 따른 마찰계수의 변화는 B재가 현저히 크나 BM재는 일반적으로 알려진 대로 변화가 거의 없어 가장 안정적인 것을 알 수 있다. BC재의 경우는 마모가 현저하였던 0.5m/s 에서 저 마찰거리에서만 변화가 크나 전반적으로 마찰안정성은 양호한

것을 알 수 있다. 이러한 측면에서 BC재의 고체윤활제로써의 적용가능성이 높다는 것을 알 수 있다.

그러나 이들 그림에서 BM재는 전반적으로 속도가 증가함에 따라 마찰계수가 감소

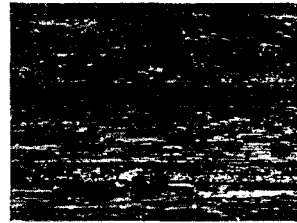


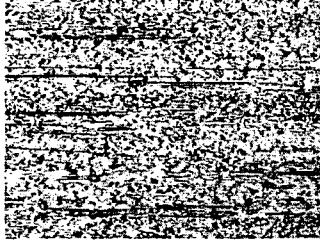
Fig.5 Optical micrographs of worn surface(BC)

하고 있으나¹⁾ BC재의 경우는 고속시 다시 상승하는 것으로 밝혀져 고속영역에서의 적용에는 문제가 있을 것으로 예측되어 진다.

3-3 마모면의 고찰

Fig. 5는 BC재를 마모시험 후 광학현미경으로 관찰한 마모면을 나타낸 것이다. 0.5m/s에서는 다수의 scratch가 관찰되어 마모가 많다는 사실과 일치한다. 2m/s에서는 흑색의 화합물이 관찰되나 이들은 철 산화물인 것으로 확인되었다. 즉 상대재의 산

화물이 이착되어 금속간 접촉이 방지되므로 시편의 마모량이 급감하였음을 예측할 수 있다. 6m/s에서는 소량 상대재의 이착물이 확인되나 대부분이 시편자체의 재전이 된 입자인 것으로 밝혀졌다. Fig.6은 이들



(a) 0.5m/s



(b) 6.0m/s

Fig.6 Optical micrographs of worn surface of counter material (BC)

상대재의 마모면을 나타낸 것이다. 저속에서는 미세한 철산화물이 다수 관찰되어 이들이 시편에 abrasive적으로 작용한 것으로 추정된다. 이러한 철산화물은 속도가 증가할수록 많아지나 4~6m/s에서는 현저한 크기의 산화물이 생성되어 이들이 시편을 abrasive하여 마찰계수 및 마모율을 상승시키는 역할을 한 것으로 생각된다.

Fig.7은 B재의 마모면의 양상을 나타낸 것이다. 그림에서도 보듯이 BC재와 달리 0.5m/s에서 다량의 흑색 산화물이 관찰되어 마찰면의 온도상승은 BC재에 비해 더욱 현저한 것으로 생각된다. 특히 이러한 산화물은 속도증가에 따라 급격히 감소하였으며 2m/s이후에는 scratch가 관찰되었다. 이러한 scratch는 상대재의 경우도 유사하게 나타났다.

Fig.8은 3종류의 시편에 대해 2m/s에서 시험한 상대재의 단면곡선을 나타낸 것이다. 그림에서도 보듯이 B재의 단면곡선에서 커다란 groove가 관찰되고 있다. 결국 시편뿐만 아니라 상대재에서도 전단이 일어나



(a) 0.5m/s



(b) 6.0m/s

Fig.7 Optical micrographs of worn surface(B)

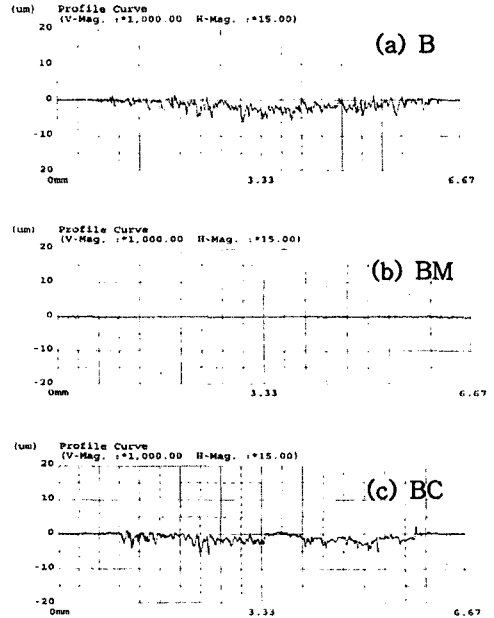


Fig.8 Profile curves of worn surface tested at 2m/s

B재의 마모량이 낮은 이유로 추정된다. 결국 저속에서는 산화물간의 접촉으로 마모가 적고 큰 마찰계수를 나타내나 속도가 증가하여 마찰면의 온도가 현저히 상승하면서 시편과 상대재가 공히 마모되어 시편의 마모 및 마찰계수 감소로 이어진 것으로 생각된다. BM재의 경우는 전속도 영역에서 scratch가 관찰되었다. 이때 상대재는 거의 마모하지 않고(Fig.8(b) 참조) 이들 마모면에는 미세한 산화물이 골고루 분포하나 산화물량은 속도가 증가함에 따라 많아지는 것으로 밝혀졌다. 결국 이들 산화물이 시편을 abrasive하는 것으로 생각된다. 그러나 이러한 산화물의 생성량은 B재나 BC재에 비해 현저히 적은 것으로 밝혀졌다. 이러한 사실로 미루어 BM재의 마찰면의 온도상승이 가장 낮다는 것을 알 수 있다.

이상의 결과 Cu₂S첨가 황동은 MoS₂첨가 황동 정도는 아니나 동일하게 Cu₂S의 낮은 전단강도로 마찰면의 온도상승을 저하시켜 양호한 마찰특성을 보이는 것으로 생각할 수 있다. 더욱이 마모특성도 양호하여 경제적인면과 아울러 생각하면 고체윤활제로써의 적용 가능성은 높은 것으로 추정된다. 단지 고속의 조건하에서의 적용 가능성은 좀 더 논의가 되어야 할 것으로 생각된다.

4. 결론

Cu-10%Sn 조성의 혼합분말과 이들에 Cu₂S와 MoS₂를 각각 1.5%씩 첨가 한 3종류의 시편에 대해 각각 미끄럼 마찰마모특성을 조사하고 비교한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 이들의 마모특성은 저속에서는 높은 마모율이나 속도가 증가함에 따라 감소하는 경향이나 아무것도 첨가 않은 청동이 가장 양호하였다.
- 2) Cu₂S첨가 청동의 마모특성은 초기마모

영역에서 청동의 마모특성과 유사하나 정상마모영역에서는 변화폭이 크지만 MoS₂첨가 청동 보다는 양호하였다. 그러나 고속에서는 역전될 가능성이 있다.

- 3) 마찰특성은 MoS₂첨가 청동이 가장 안정적이거나 Cu₂S첨가 청동도 양호한 것으로 밝혀졌다.
- 4) 이와 같이 Cu₂S가 양호한 마찰마모특성을 보이는 것은 MoS₂정도는 아니나 낮은 전단강도로 마찰면의 온도상승을 낮추는 것이 유효하게 작용한 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 정선모, 윤활공학, 동명사 (1987)207
2. Luise Gudmand-Hoyer, Allan Bach, Georg T. Nielsen, Per Morgan, Wear, 232(1999)168-175
3. US Patent 6,305,847
4. H.Y.Lee, Wear 256(2004)657-663