

무윤활 미끄럼 마찰하에서의 SiC 휘스커 및 입자강화 청동기지 복합재의 마모특성

(The wear properties of SiCw and SiCp reinforced bronze matrix composites)

이상로, 허무영

고려대학교 금속공학과

1. 서론

고품위의 동력전달장치와 같은 고정밀 기능 부품들은 보다 높은 비강도, 고경도, 내마모성 및 내식성을 가져야 하며, 특히 소재의 마찰, 마모 특성은 기아제품 등의 수명, 정밀도 및 에너지 손실을 좌우하는 것으로서 물성의 열화를 극복할 수 있는 소재의 개발이 요구되고 있다. 지난 수년동안 금속기지에 Al_2O_3 나 SiC 등의 보강재를 첨가하여 복합재의 응착 및 연삭마모에 대한 저항성을 향상시키는 시도를 하고있다¹⁻³⁾. 주로 제조비용이 낮고 거의 등방적인 성질을 가지며 가공성이 좋은 입자 보강 복합재료에 대한 연구가 지배적이었지만, 입자 보강 복합재료의 경우 강도 및 탄성계수의 향상 정도가 적다는 단점을 지니고 있다⁴⁾. 근래에는 새로운 형태의 복합재료인 휘스커 보강 복합재료가 개발되어, 복합재의 강도증가와 함께 내마모성을 향상시키고 있다⁵⁾. 그러나 복합재료의 마모기구가 매우 복잡해서 복합재료의 미세조직, 공정변수와 내마모성질간의 관계에 대한 보고는 거의 없다. 최근의 연구에 의하면 보강재의 부피비, 보강재의 분산 정도, 기지의 기계적 성질, 기지와 보강재의 계면 안정성 등이 마모성질을 좌우하는 인자라고 보고하고 있다. 만약 보강재가 계면분리나 세라믹 보강재의 파괴 등에 의하여 부여하중을 지지하지 못하는 조건에서는 마모성질의 향상이 없거나 오히려 나빠질 수 있다⁶⁻⁷⁾. 따라서 최적의 마모특성을 가질 수 있는 재료제조와 지침 마련과 복합재료의 마모거동 모델을 제시하기 위해서는 세라믹상 강화 복합재의 마모기구에 대한 많은 연구가 요구되고 있다.

본 연구에서는 분말야금법을 이용하여 금속기지에 세라믹상으로 SiC 입자 및 휘스커가 첨가된 복합재를 제조하여 제조공정변수에 따라 마모거동을 pin-on-disk 형태의 마모시험기에서 실험하였으며, 주사전자현미경으로 마모표면관찰 등으로 복합재의 마모기구를 연구하였다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용한 SiC 휘스커는 직경 2~3 μ m, 길이 30~200 μ m로 Advanox composite matrix co. 제품이었으며, SiC 입자는 직경 2~3 μ m를 갖는 불규칙한 입형을 갖는 일본 고순도 화학 제품을 사용하였으며, 기지분말은 (주) 창성에서 제조한 구리분말과 주석분말을 사용하였다. SiC 강화재는 부피비를 10vol%까지 변화시켜 혼합, 압축성형, 1차소결, 재압축, 2차소결을 하여 제조하였다. SiC 휘스커는 용제와 혼합하여 초음파분산시킨후 구리분말과 기계적 혼합을 하고, SiC 입자는 기계적 혼합만으로 고르게 분산시켰다. 혼합된 분말을 압축성형하여, 680°C에서 20분간 1차소결하고, 재압축하여 800°C, 수소분위기에서 40분간 2차소결하였다. 마모시험시 상대재는 HRC63 \pm 3인 탄소강을 사용하였으며, 마모조건은 무윤활 상태에서 미끄럼 속도를 0.93m/sec로 일정하게하고 마모변수로 마모하중을 4.9~49N, 미끄럼 거리를 500~5000m로 선택하였다. 시험이 끝난 시편은 마모기구를 규명하기 위하여 초음파 세척한 후 주사전자현미경을 이용하여 마모표면과 전단면을 관찰하였다.

3. 실험 결과

세라믹 강화재의 분산

그림 1은 동분말, 주석분말에 SiC 휘스커를 혼합한 혼합분말의 미세조직으로 용매를 이용한 초음파 분산 및 기계적 혼합에 의하여 동, 주석, 윤활제, 휘스커가 서로 잘 혼합되어 있음을 보여 준다.

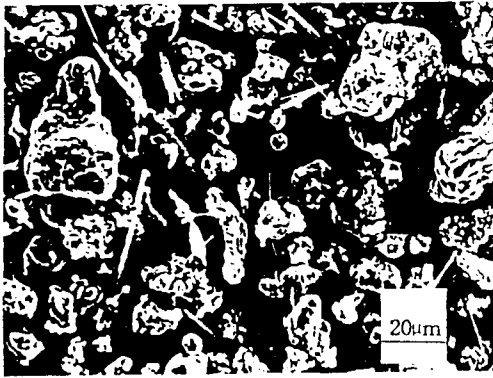


Fig. 1. Scanning electron micrographs of mixed powders (Cu + Sn + SiCw + Acrowax)

마모율

마모하중을 4.9~49N, 미끄럼 거리를 500~5000m로 변화시키면서 마모시험 후, 마모시편의 무게감량을 측정하여 마모율을 구하였다. 강화재 종류와 하중변화에 따라 특징적인 마모거동을 보였다.

그림 2는 SiC 입자와 SiC 휘스커의 첨가 부피비와 마모율간의 관계를 나타낸다. 그림 2.(a)에서 SiC 입자 강화의 경우 마모하중 4.9N에서 SiC 입자 첨가 부피비가 많을수록 높은 마모율을 나타낸다. 이때 비강화 청동기지는 $4 \times 10^{-7}g$ 을 나타내며, 10vol% SiC 강화 청동기지의 경우 $1 \times 10^{-6}g$ 의 마모율을 가진다. 하지만 고하중으로 옮겨가면서 SiC 입자 첨가 부피비가 증가할수록 우수한 내마모성을 가진다. 그림 2.(b)에서 SiC 휘스커 강화의 경우 4.9N에서 $3.2 \times 10^{-7}g$ 의 마모율을 나타내어 비강화 청동기지과 비슷한 양상을 나타낸다. 그리고 휘스커 첨가 부피비에 따라 전구간에 걸쳐 우수한 내마모성을 지니고 있으며, 특히 고하중시에 우수한 성질을 나타낸다.

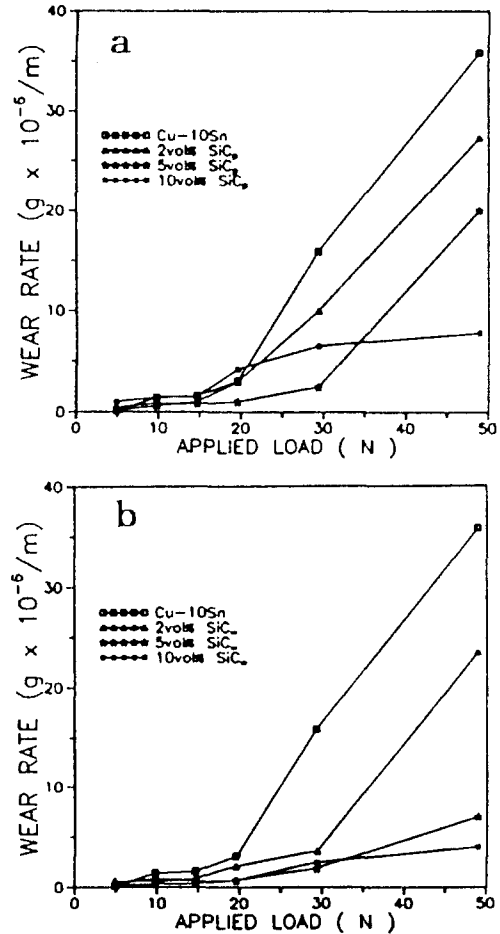


Fig. 2. Variation of wear rates with the applied load at the sliding velocity of 0.93ms-1
(a) Bronze- 10 vol% SiC_p
(b) bronze - 10 vol% SiC_w

그림 3은 마모하중을 일정하게 하고, 미끄럼 거리를 변수로 하여 각 강화 복합재의 마모량을 나타내며, 강화 복합재는 마모하중에 따라 특징적인 마모거동 구간을 가진다.

(1) 4.9N이하의 저하중에서는 SiC 입자 강화 복합재료가 가장 높은 마모량을 나타내고 있다. 그림 3.(a)을 보면 SiC 입자 강화 복합재는 5000m 미끄럼 거리를 가질때 $3.98 \times 10^{-3}g$ 을 가지며, 비강화 청동기지는 $1.6 \times 10^{-3}g$ 의 마모량을 가지고 있다. 저하중에서 SiC 입자의 날카롭고 불규칙한 부위가 상대재를 연삭하고 연삭된 상대재가 연한 기지를 연삭한다고 할 수 있다. 반면 휘스커 강화재는 표면이 매끄러워 상대재 연삭의 효과가 없으므로 청동기지과 거의 동일한 마모량을 갖는다.

(2) 4.9~20N 사이의 중간하중에서는 비강화 청동기지와 강화 청동기지가 거의 비슷한 마모량을 갖는다. 하지만 이구간에서는 SiC 휘스커와 SiC 입자를 동시에 강화한 hybrid 강화재가 가장 우수한 내마모성을 갖는다.

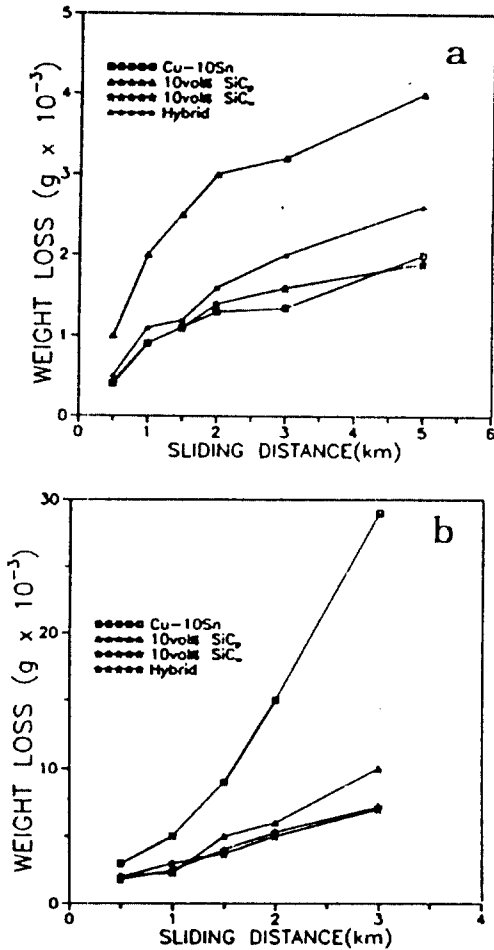


Fig. 3. Wear loss vs sliding distance curves at the sliding velocity of 0.93ms⁻¹
(a) 4.9N (b) 49N

(3) 20N 이상에서 비강화 청동기지는 급격한 마모량 증가를 가져온다. 그림 3.(b)을 보면 비강화 청동기지는 49N에서 미끄럼 거리에 따라 급격한 마모량 증가를 가져와 3000m 이동시 $27 \times 10^{-3}g$ 을 나타낸다. 마모량이 급격하게 증가하는 지점은 mild wear에서 severe wear로 전환하는 곳이다. 세라믹 강화 복합재의 경우 강화재가 기지의 소성변형을 막거나 기지를 붙잡아 박리현상을 방해하는 역할을 하게되어 높은 하중에서 전환이 일어날 것이다.

마모표면분석

그림 4는 4.9N에서의 마모표면 주사전자현미경 사진이다. 그림 4.(a)는 비강화 청동기지의 마모표면으로 약한 응착마모현상을 보이나 마모의 흔적이 극히 적으며, 이표면에서 떨어져 나온 debris는 $1\mu m$ 이하로 아주 미세하며 원형으로 고른 분포를 갖는다. 그림 4.(b)는 SiC 입자 강화 청동기지의 마모표면으로 연삭마모와 응착마모현상을 동시에 보이고 있으며, 떨어져 나온 debris는 수 μm 정도로 비강화 청동기지에 비하여 크고 flake형태를 띄고 있다. 이는 연삭효과에 의해서 떨어져 나온 것이라 사료되며, SiC 입자 강화 청동기지는 저하중에서 연삭마모가 주마모기구로 작용함을 보여준다.

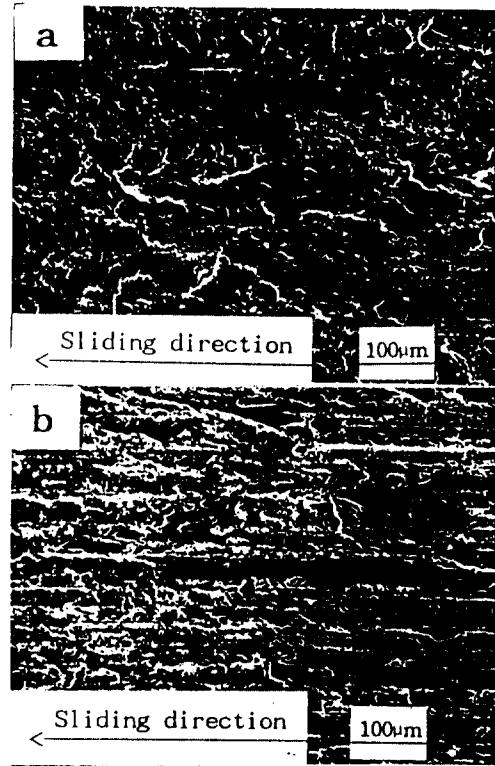


Fig. 4. Worn surface morphologies of materials tested at (load: 4.9 N, sliding velocity : 0.93m/sec)
(a) Bronze (b) Bronze - 10 vol % SiC

그림 5는 49N에서의 마모표면 주사전자현미경 사진이다. 그림 5.(a) 그림은 비강화 청동기지의 마모표면으로서 급격한 마모가 진행됨을 보여주는 박리현상을 볼 수 있다. 이는 기지에 반복되는 하중으로 표면 근처에 소성전단변형이 유발되어 균열이 발생, 판형의 입자를 생성시켜 진행되는 마모현상으로 볼 수 있다. 이때에 debris는 flake형태의 수십 μm 크기의 것과 미세한 debris

들로 이루어져 있는데, 미세한 debris는 박리현상에 의해 생성된 큰 debris가 마모틈사이에서 깨어져 생성된 것으로 넓은 범위의 크기 분포를 가지고 갖는다.

그림 5.(b)는 휘스커 강화 청동기지의 마모표면으로서 응착마모가 지배적이며 박리현상은 거의 관찰되고 있지 않다. 이때의 debris는 수 μm 정도의 미세한 형태로서 mild wear 과정을 보여준다. 이는 휘스커가 기지표면을 붙잡아주며, 기지하중을 받는 load bearing element의 역할을 하고 있음을 보여준다. 하지만 휘스커가 견딜 수 있는 하중 이상에서는 비강화 청동기지처럼 급격한 마모현상이 발생하리라 사료된다. 이로써 mild wear에서 severe wear로 전환되는 지점에서 판상박리현상이 주마모기구로 작용함을 알 수 있다.

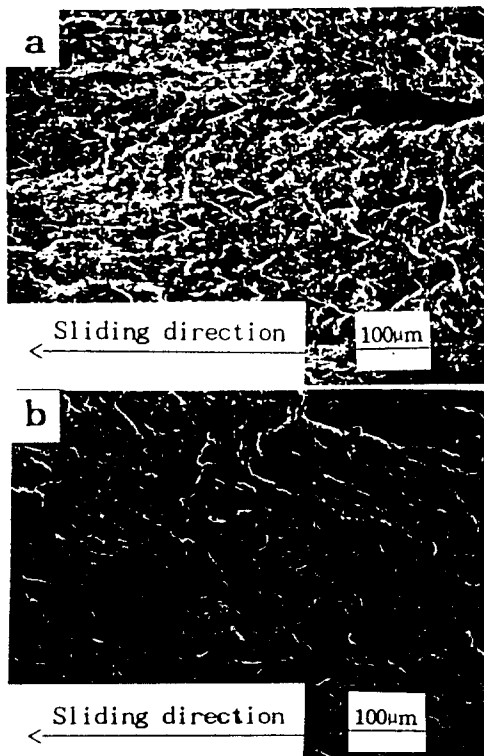


Fig. 5. Worn surface morphologies of materials tested at (load: 49 N, sliding velocity : 0.93m/sec)
 (a) Bronze - 10 vol% SiC_p
 (b) Bronze - 10 vol% SiC_w

4. 결 론

1) 마모하중 5N 이하에서는 SiC 입자 강화 복합재료가 가장 낮은 내마모성을 나타내었다. 이것은 SiC 입자가 상대재를 연삭한 후 상대재의 경한 돌기부가 연한 기지조직을 다시 연삭하는 마모거동을 보이기 때문이다.

2) 5~20N의 마모하중에서는 응착마모가 지배적이었고, SiC 입자 강화 복합재료에서는 연삭 마모도 동시에 관찰되었다. 이 구역에서는 강화 복합재와 비강화복합재의 마모거동은 유사하였다.

3) 20N 이상의 고하중에서 비강화 청동기지는 심한 마모거동을 보이는데, 이는 마모가 mild wear에서 severe wear로 전환하기 때문이다. 이때의 주마모기구는 응착마모와 판상박리마모였다.

4) SiC 휘스커의 첨가는 자체의 높은 경도와 기지를 붙드는 성질을 가져 박리현상에 의한 마모를 억제하여 SiC 입자 강화재에 비하여 내마모성질을 크게 향상시켰다.

참 고 문 헌

1. M.K. Surappa, S.V. Prasad, P.K.Rohatgi, Wear, vol. 77, pp. 295-302, 1982
2. 김영환, 이성학, 김낙준, 이두영, 대한금속학회지, vol. 28, no.7, pp.40-647, 1990
3. A.T. Alpas, J. Zhang, Scripta METALLURGICA et MATERIALIA, vol. 26, pp. 505-509, 1992
4. R.J. Arsenault, R.M. Fisher, Scripta METALLURGICA et MATERIALIA, vol. 17, pp. 67-71, 1983
5. L. Cao, Wear, vol. 140, pp. 273-277, 1990
6. H. Sin, N. Saka, N.P. Suh, Wear, vol.55, pp. 163-190, 1979
7. D.E. Kim, N.P. Suh, Wear, vol. 149, pp. 199-208, 1991