

〈論 文〉

가압소결법으로 제조된 알루미나 단섬유 보강 청동기지 복합재의 마모특성

최준호* · 허무영*
(1995년 11월 9일 접수)

Wear Properties of the Alumina Short Fiber Reinforced Tin-Bronze Matrix Composites manufactured by Hot Pressing

Jun-Ho Choi, Moo-Young Huh

Abstract

The wear properties of the alumina short fiber reinforced tin-bronze matrix composites manufactured by hot pressing was studied at the room temperature and 350°C. The wear loss of various specimens having different constituent and different density was examined by a pin-on-disc type wear testing machine. The results were discussed by the observation of the worn surface morphology and the analysis of the composition on the worn surfaces. Since the reinforced effect of the alumina fiber on the wear resistance was dependent on the strength of alloy matrix, the pressureless sintered composites having a lower matrix strength showed a marked increase in wear resistance by the fiber reinforcement. As the wear condition became severe, the fiber reinforcement was more effective. The delamination on the wear surface was observed in the pressureless sintered specimens having pores which are related to the initiation and the propagation of cracks. However, the wear mechanism acting on a big failure area was not found on the wear surfaces of the hot pressed specimens having a few pores.

Key Words : Wear Property, Alumina Short Fiber Reinforced Composite, Hot Pressed Composite, Pressureless Sintered Composite

1. 서 론

제동장치용 마찰재는 운동에너지를 효과

적으로 발산하기 위하여 내마모성, 고강도 및 내식성이 요구된다. 특히 항공기나 고속 전철과 같은 가혹한 환경에서 사용되는 마찰재는 우수한 내마모성과 함께 제동시 발생하는 열의 발산 속도가 빨라야 하므로 기지의 열전도성이 높은 금속기지 소결재가

*고려대학교 금속공학과

주로 사용된다. 지난 수년간 금속기지에 Al_2O_3 나 SiC 등의 세라믹 보강재를 첨가하여 복합재의 내마모성을 높히는 연구들이 보고되고 있다.^(1~3) 세라믹 입자 보강 복합재료에 비하여 세라믹 휘스커 보강 복합재는 기지를 장범위로 잡아주는 강화효과를 갖기 때문에 최근까지 연구가 진행되었다.^(4~7) 그러나 휘스커는 그 형상 때문에 인체에 유해하다고 알려져 휘스커의 생산과 휘스커를 이용한 연구는 거의 중단된 상태이다. 세라믹 휘스커의 대체물질로 가격도 저렴하며 인체에 무해한 세라믹 단섬유 강화 복합재료에 대한 연구가 현재 많이 수행되고 있다. 본 연구에서는 경도, 강도, 탄성율이 크고, 열팽창계수가 작고 열전도도가 높으며 화학적으로 매우 안정한 Saffil 알루미늄 단섬유를 보강재로 선택하였고, 기지 자체가 내마모성을 가지며 열전도도도 높은 청동을 기지합금으로 선택하여 복합재를 제조하였다.

복합재료의 마모특성을 지배하는 인자로는 보강재의 형태, 부피비, 분산상태, 기지와 보강재의 계면안정성등이 있다.^(8~10) 일반적으로 분말법을 이용하여 복합재를 제조 시에는 높은 성형압으로 성형한 후에 상압소결로 소결재를 제조한다. 세라믹 보강재로 사용되는 세라믹 단섬유는 지름이 수 μm , 길이가 수백 μm 정도이나 높은 성형압으로 성형하면 단섬유가 파괴되어 길이가 짧아져 단섬유가 기지를 장범위로 잡아주는 효과가 감소하게 된다. 따라서 본 연구에서는 일반적인 소결공정에 비하여 높은 소결재의 밀도가 얻어지며 또한 제조공정중에 단섬유의 파괴가 적은 가압소결(hot pressing)법을 이용하여 알루미늄 단섬유 보강 복합재를 제조하였다. 또한 비교시료로 같은 조성을 갖는 상압소결 복합재도 제조하였다. 제조된 복합재들의 마모거동을 pin-on-disc 형태의 마모시험기에서 상온과 고온에서 마모특성변화를 측정하였고, 마모표면

과 마모부스러기의 형상등을 주사전자현미경으로 관찰하고 마모표면의 성분을 분석하여 시료의 구성성분과 제조방법 그리고 마모조건에 따른 마모기구의 변화를 고찰하였다.

2. 실험 방법

금속기지는 Cu-10wt%Sn 청동을 세라믹 보강재는 Saffil 알루미늄 단섬유를 사용하였다. 단섬유의 초기 길이는 150~200 μm , 직경은 2~3 μm 였다. 이 단섬유는 인장강도 1000~2000MPa의 내마모성 향상용 RG-급이었다. 금속분말의 평균입도는 단섬유와의 혼합이 용이한 -325mesh였다. 금속분말과 단섬유의 균일한 혼합체는 분산매를 사용하여 초음파 분산 및 기계적 혼합으로 얻어졌다. 상압소결 시료는 성형압 6ton/cm²로 압축성형 후, 845°C에서 120분 소결하여 제조하였다. 가압소결 시료는 5×10^{-5} torr 진공상태 하에서 일정한 압력 0.5 ton/cm²에서 600°C 까지 승온후에 10분간 유지하여 제조하였다. 제조된 시편은 pin-on-disc 형태의 상온 및 고온 겸용 마모시험기로 수행하였다. 마모조건은 대기중, 무윤활상태에서 미끄럼속도를 0.5m/sec로 500m 마모시험하였다. 마모하중은 5.88~29.4N 사이였으며, 마모온도는 상온과 350°C 였다. 상대재인 disc는 경도 약 H_RC 56인 베어링강을 사용하였다. 마모시편인 pin은 소결재를 4×4×10mm의 크기로 절단하여 제조하였다. 마모 접촉면은 마모시험전에 연마지로 #800 까지 연마하였다. 마모량은 시편의 무게 감량으로 구하였다. 마모시험후 마모거동을 고찰하기 위하여 pin과 상대재 disc의 마모표면 그리고 마모부스러기를 주사전자현미경으로 관찰하였고 EDS(Energy Dispersive Spectroscopy)로 성분분석도 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 성형압에 따른 단섬유의 장경비 변화

Fig. 1은 성형압에 따른 복합재에서 단섬유의 장경비를 알아보기 위하여 성형후 단섬유의 형태를 주사전자현미경으로 관찰한 결과이다. (a)는 상압소결재를 제조시 적용한 성형압인 6ton/cm²에서 성형후 성형체의 금속기지를 질산으로 용해한 후 관찰한 결과로 알루미나 단섬유의 장경비가 약 10~15 정도임을 알 수 있다. (b)는 가압소결재를 제조시 적용한 성형압인 0.5ton/cm²으로 성형후 단섬유를 관찰한 결과로 단섬유의 파괴가 거의 일어나지 않아 장경비가 50 이상인 단섬유들이 많이 관찰되고 있다. 단섬유가 기지 합금을 잡아주는 효과는 단섬유의 길이가 길수록 크므로 낮은 성형압

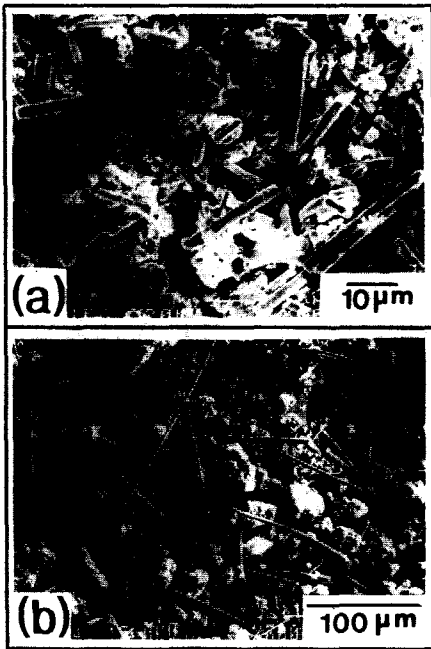
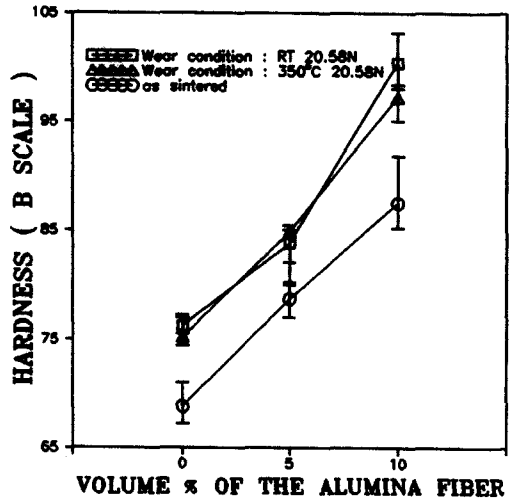


Fig. 1 The aspect ratio of fibers in the composite after
 (a) pressureless sintering
 (b) hot pressing.

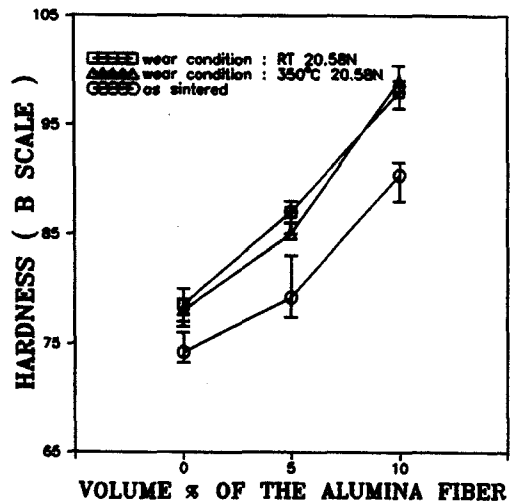
으로 제조되는 가압소결 복합재에서 단섬유의 보강효과가 보다 높을 것으로 기대된다.

3.2 마모시험에 따른 복합재의 경도 변화

Fig. 2는 pin 시험인 알루미나 단섬유 보강재의 부피비에 따른 소결재의 경도변화와



(a)



(b)

Fig. 2 Variation of hardness as a function of vol% of Al₂O₃ fiber. Results were obtained before and after the wear test under the wear load of 20.58N, the testing temperature was at R.T. and 350°C. The specimen manufactured by
 (a) pressureless sintering
 (b) hot pressing.

함께 이 시편들을 20.58N의 마모하중에서 마모시험후 마찰이 일어났던 면의 경도를 Rockwell B scale로 측정된 결과이다. (a)는 상압소결재, (b)는 가압소결재를 마모시험전과 상온 및 350°C에서 일정한 미끄럼속도 0.5m/sec로 500m 마모시험후에 마찰이 일어났던 면의 마찰에 의한 경도변화를 보여준다. 상압소결재와 가압소결재에서 모두 단섬유가 복합될수록 경도가 증가하였는데, 이것은 경한 세라믹 단섬유가 연한 금속기지에 복합됨에 따라 혼합법칙에 따른 경화로 쉽게 이해될 수 있다. 또한 상압소결재는 기공(pore)을 포함하고 있어 이론밀도의 91% 정도의 밀도를 갖지만 가압소결재는 이론밀도의 99% 이상의 밀도를 갖기 때문에 같은 조성을 갖는 시편들의 가압소결재는 상압소결재에 비하여 높은 경도가 얻어졌다. 마모시편, 마모조건에 변화에 관계없이 500m 마모시험 후의 경도는 소결재 시편에 비하여 높아졌다. 이것은 모든 마모시편의 표면에서 항복응력 이상의 응력이 최소한 부분적으로 작용하여 기지금속의 가공경화가 일어났음을 의미한다. 또한 마모온도에 의한 경도변화는 크지 않았다. 마모시험시 미끄럼마찰층의 가공경화에 미치는 온도의 효과가 크게 나타나지 않은 것은 상온과 350°C 사이의 온도구역에서 미끄럼접촉면의 금속소성유동이 온도에 크게 영향을 받지 않았기 때문인 것으로 믿어진다. 소결시편의 경도는 가압소결재가 상압소결재에 비하여 높았지만, 마모시험후의 경도는 제조조건에 상관없이 거의 같은 수준이 얻어졌다. 이것은 마모시험에 따른 가공경화층의 깊이가 두 시료에서 거의 같기 때문이라고 믿어진다.

3.3 복합재 pin 시편의 마모량의 변화

Fig. 3은 Cu-10wt%Sn인 기지합금과 기지합금에 알루미늄 단섬유가 부피비로 10 vol% 보강된 복합재를 상압소결과 가압소

결로 제조한 pin 시편의 마모하중에 따른 마모량의 변화를 시험한 결과이다. 마모시험은 모든 시편에 대하여 미끄럼속도 0.5 m/sec, 미끄럼거리 500m로 일정하였다. 모든 시편에서 (a)의 상온 마모시험에 비하여 (b)의 350°C에서 마모시험시 낮은 마모량이 얻어졌다. pin 시편과 disc 상대재가

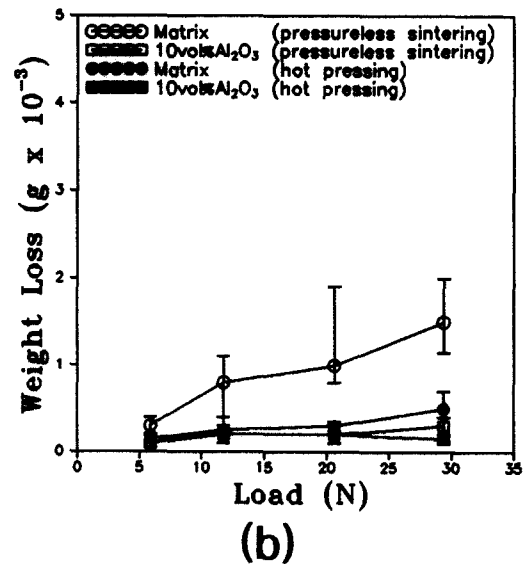
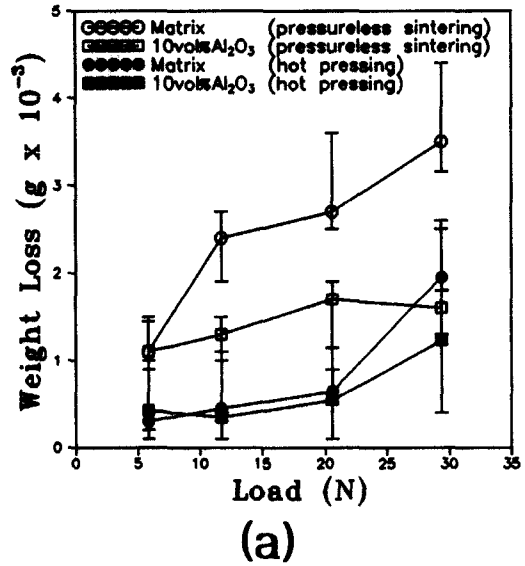


Fig. 3 Variation of weight loss as a function of applied load at (a) room temperature (b) 350°C. (sliding velocity : 0.5m/sec, sliding distance : 500m)

350°C로 가열된 조건에서 마모시험시 상온에 비하여 마모량이 더 적었던 이유는 윤활작용을 하는 산화막이 이 온도에서 보다 용이하게 생성되기 때문에 미끄럼 마찰시 pin 마모시편과 disc 상대재 사이의 접촉이 금속과 금속의 직접 접촉 보다는 산화물과 산화물의 접촉 확률이 높아지기 때문이라 생각된다.

상온시험시 약한 마모조건에서는 Cu-10wt%Sn 기지합금의 물성이 마모특성을 지배하여 단섬유의 보강효과가 얻어지지 않았다. 기지합금의 강도가 낮은 상압소결재는 5.88N까지의 마모하중에서 단섬유 보강효과가 나타나지 않으나, 기지합금의 강도가 높은 가압소결재는 20.58N까지의 마모하중에서 단섬유 보강에 따른 내마모성의 향상효과가 나타나지 않았다. 그러나 보다 가혹한 조건인 11.7N 이상의 마모 하중에서는 동일 마모온도 그리고 동일 소결조건에서 제조된 시편에서는 알루미늄 단섬유가 10vol% 보강된 복합재가 기지합금에 비하여 낮은 마모량을 나타내며 특히 높은 마모하중에서 단섬유의 보강효과가 크게 나타났다. 이것은 전 연구⁽¹¹⁾에서 고찰한 것과 같이 단섬유는 장경비가 크기 때문에 복합재에서 기지를 잡아주어 마모표면 직하에서 균열의 전파를 억제하고 마모입자의 발생을 억제하기 때문일 것이다.

상압소결재에 비하여 가압소결재에서는 알루미늄 단섬유의 보강에 따른 내마모성의 증가가 약하게 나타났고 가압소결재는 특히 상온에서 높은 내마모성을 갖는다. 이것은 가압소결재들이 거의 이론밀도에 가까운 밀도를 갖고 있어 기지합금 자체가 높은 내마모성을 갖기 때문일 것이다. 즉 기공이 존재하는 상압소결재에서는 기공이 존재하므로 기공으로부터 균열의 발생과 전파가 용이하므로 큰 범위로 표면파괴가 일어나는 마모기구가 작용하는 것이 가능할 것이다. 그러나 가압소결재는 기공을 거의 갖고 있

지 않으므로 큰 범위로 재료의 손상이 일어나는 마모기구가 작용하지는 않았을 것이다.

상압소결로 제조된 기지합금은 350°C, 고하중에서 높은 마모량을 갖는데, 이것은 미끄럼 마찰면에 비록 산화막이 존재하여도 온도가 상승함에 따라 합금의 항복강도가 낮아져 산화막층이 쉽게 이탈되기 때문일 것이다. 온도가 상승하면 항복강도가 낮아지는 금속과는 달리 알루미늄 단섬유는 용점이 2000°C 이상으로 높아 상온에서 350°C로 온도가 상승하여도 강도의 변화가 거의 없다. 그러므로 350°C, 고하중에서 알루미늄 단섬유가 보강된 복합재들의 마모량이 낮은 것은 산화층과 기지를 지지해주는 알루미늄 단섬유의 물성이 고온에서도 거의 변하지 않기 때문이라 믿어진다.

3.4 복합재 pin 시편의 마모표면

Fig. 3의 마모특성시험에서 상압소결재와 가압소결재 그리고 기지와 알루미늄 단섬유 보강 복합재의 마모량은 마모하중이 고하중일수록 그 차이가 크게 벌어졌다. Fig. 4는 본 실험에서 가장 높은 마모하중인 29.4N에서, 일정한 미끄럼속도 0.5m/s로 미끄럼거리 500m 시험후 상압소결재와 가압소결재의 기지합금과 단섬유가 10vol% 보강된 복합재 pin 시편들을 상온에서 마모시험후 마모표면을 주사전자현미경으로 관찰한 결과이다.

Fig. 4(a)는 본 실험에서 가장 마모량이 컸던 상온에서 마모시험한 상압소결 기지합금의 마모표면으로 전체적으로 표면층의 물질이 100m이상의 폭을 갖고 마찰면에서 분리되어 떨어져 나간 것이 관찰되며 미끄럼 방향으로 재료가 밀려나간 손상의 형태도 보여진다. 마모시험시 반복하중이 가해짐에 따라 시편 표면의 금속층이 상대재와 응착을 일으키면 작용하는 응력의 상태와 크기에 따라 항복이 일어나는 범위 즉 소성변형

구역이 결정된다. 이 시편은 강도도 낮으며 또한 가해진 하중이 높아 시편 표면층 깊은 곳까지 소성변형이 일어날때 넓은 범위에서 소성변형률이 파괴가 일어나는 수준을 넘으면 재료의 파괴가 크게 일어날 것이다. 또한 이 시료는 상압소결재이므로 마찰면직하에 존재하는 기공들이 균열발생의 자리를 제공하고 균열의 전파 통로를 제공하므로 마모면에서 재료의 손상이 넓은 범위로 일어나는 판상박리마모도 일어난 것으로 믿어진다. Fig. 4(b)는 (a)에 비해 낮은 마모량이 측정된 상압소결 단섬유 10vol% 보강 복합재를 마모하중 29.4N에서 상온 마모시험 후 관찰한 마모표면이다. 마모표면에서는 미끄럼방향으로 재료가 밀려나며 소성변형이 일어난 전형적인 응착마모의 마모손상이

보여진다. 그런데 동일 조건에서 시험한 기지합금시편에 비하여 이 시편의 표면손상은 월등히 약하게 일어났다. 이것은 알루미늄 단섬유가 기지를 지탱하고, 응력을 분산하며, 균열전파를 방해하는기지보강효과를 갖고 있어 여기서 작용하는 마모기구인 응착마모가 얇은 표면층에서만 일어난 것으로 보여진다. Fig. 4(c)는 가압소결 기지합금 시료를 마모하중 29.40N에서 상온 마모시험 후 관찰한 마모표면으로 동일조건에서 마모시험한 상압소결에서와 같은 판상으로 크게 표면파괴가 일어난 것은 관찰되지 않으며 국부적으로 약하게 골이 형성된 곳도 보이며 응착이 일어난 부분이 관찰되고 있다. 상압소결 시료 마모표면에서 관찰되는 판상박리마모가 가압소결시료에서는 관찰되

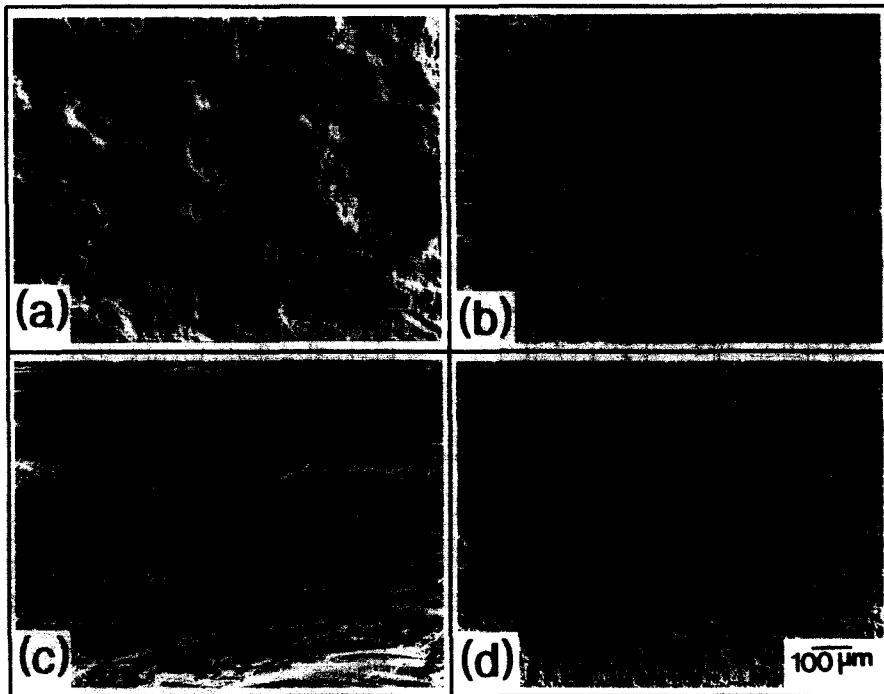


Fig. 4 SEM micrographs of worn surfaces after 500m sliding, tested at room temperature. (applied load: 29.4N, sliding velocity: 0.5m/sec)

- (a) pressureless sintered matrix alloy specimen
- (b) pressureless sintered 10vol%Al₂O₃ composite specimen
- (c) hot pressed matrix alloy specimen
- (d) hot pressed 10vol%Al₂O₃ composite specimen.

지 않는 이유는 가압소결 시료에는 기공이 거의 존재하지 않아 미끄럼 마찰면 하부에서 균열의 발생과 전파가 일어나기 어렵기 때문일 것이다. Fig. 4(d)는 가압소결한 단섬유 10vol% 보강 복합재의 마모표면으로 (c)의 상압소결재에 비하여 대부분 응착마모의 범위 즉 소성변형이 일어난 범위가 작은 것이 보여진다. 이것은 상압소결재에 비하여 가압소결재의 기지 밀도가 높아 기지 자체의 항복강도도 높고 또한 단섬유의 장경비도 크기 때문에 시편에 가해지는 응력이 마모표면 깊은 곳까지 분산되어 파괴변형률을 넘는 구역이 보다 작게 형성되기 때문이라 믿어진다.

Fig. 3의 350°C 마모특성시험에서 상압소결기지합금 시료를 제외하고 모든 시료에서는 마모하중인 29.4N에도 매우 낮은 마모량이 얻어졌다. Fig. 5는 29.4N의 마모하중에서 500m 시험한 단섬유가 10vol% 보강된 상압소결재의 마모표면으로 가압소결재에서도 동일 마모조건에서 거의 유사한 마모표면이 얻어졌다. 이 마모표면에서는 Fig. 4의 상온 마모표면은 전혀 다른 형태의 마모표면이 관찰되었다. 이 표면은 대체로 매끄러우며, 미끄럼방향의 흔적을 알 수 있는 소성변형 구역은 단지 일부분에서만 관찰되며 전체적으로 얇은 막들이 무질서하게 분포되어 있는 것으로 보여진다. 이런 마모표면에서 장범위로 큰부피를 갖고 표면층이 이탈되는 마모손상이 일어나는 마모기구는 작용하지 않을 것으로 믿어진다. 이것이 350°C에서 마모시험한 대부분의 시료들에서 매우 낮은 마모량이 측정된 원인일 것이다.

3.5 상대재 마모표면

pin 시편의 마모표면을 관찰하는 것과 병행하여 상대재 disc 마모표면을 관찰하여 마모기구의 변화를 알 수 있으며 또한 표면 분석을 통하여 마모면에서 작용하는 물질전-

달 또는 산화 정도를 추적할 수 있다. Fig. 6과 7은 각각 상압소결재와 가압소결재 pin과 실험한 베어링강 상대재 disc의 마모거동을 알아보기 위하여 20.58N의 마모하중에서 미끄럼속도 0.5m/sec로 500m 마모시험한 후 상대재의 미끄럼 접촉면을 주사현미경으로 관찰하고 그 조성을 EDS로 미세분석한 결과이다.

Fig. 6은 상압소결재 pin들과 마모시험한 상대재 disc들로 부터 얻은 결과이다. (a)는 기지합금과 상온 마모시험한 상대재의 표면과 EDS 미세분석 결과로, 상대재의 표면에는 pin 시료로 부터 많은 물질전달이 일어나 물질전달층이 상대재를 두껍게 덮고 있는 것이 관찰된다. EDS 분석에서는 Cu peak가 뚜렷히 보여져 이것을 입증하고 있다. 이것은 기지합금의 경도가 상대재보다 낮아서 마모손상이 주로 pin 시료에서 일어나 마모하중에 의하여 상대재에 응착층을 만들었기 때문이라 믿어진다. Fig. 6(b)는 상온에서 단섬유가 10vol% 보강된 복합재와 시험한 상대재로 부터 얻은 결과로 표면에는 pin으로 부터 물질전달층이 거의 보이지 않으며, 복합재에 포함된 경한 알루미늄이나 단섬유가 상대재를 연삭한 연삭물이 여러 곳에서 관찰되고 있다. Fig. 6(c)는 알루미늄이나 단섬유가 10vol%보강된 복합재 pin 시편과 350°C에서 마모시험한 상대재로 부

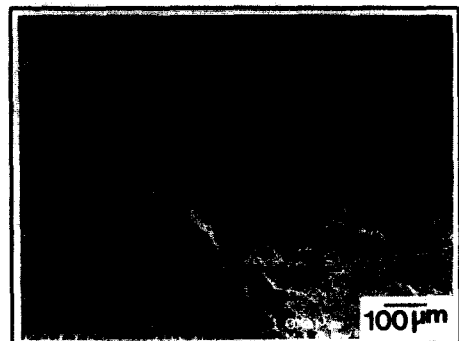


Fig. 5 Worn surfaces of the pressureless sintered 10vol% Al_2O_3 composite tested at 350°C.

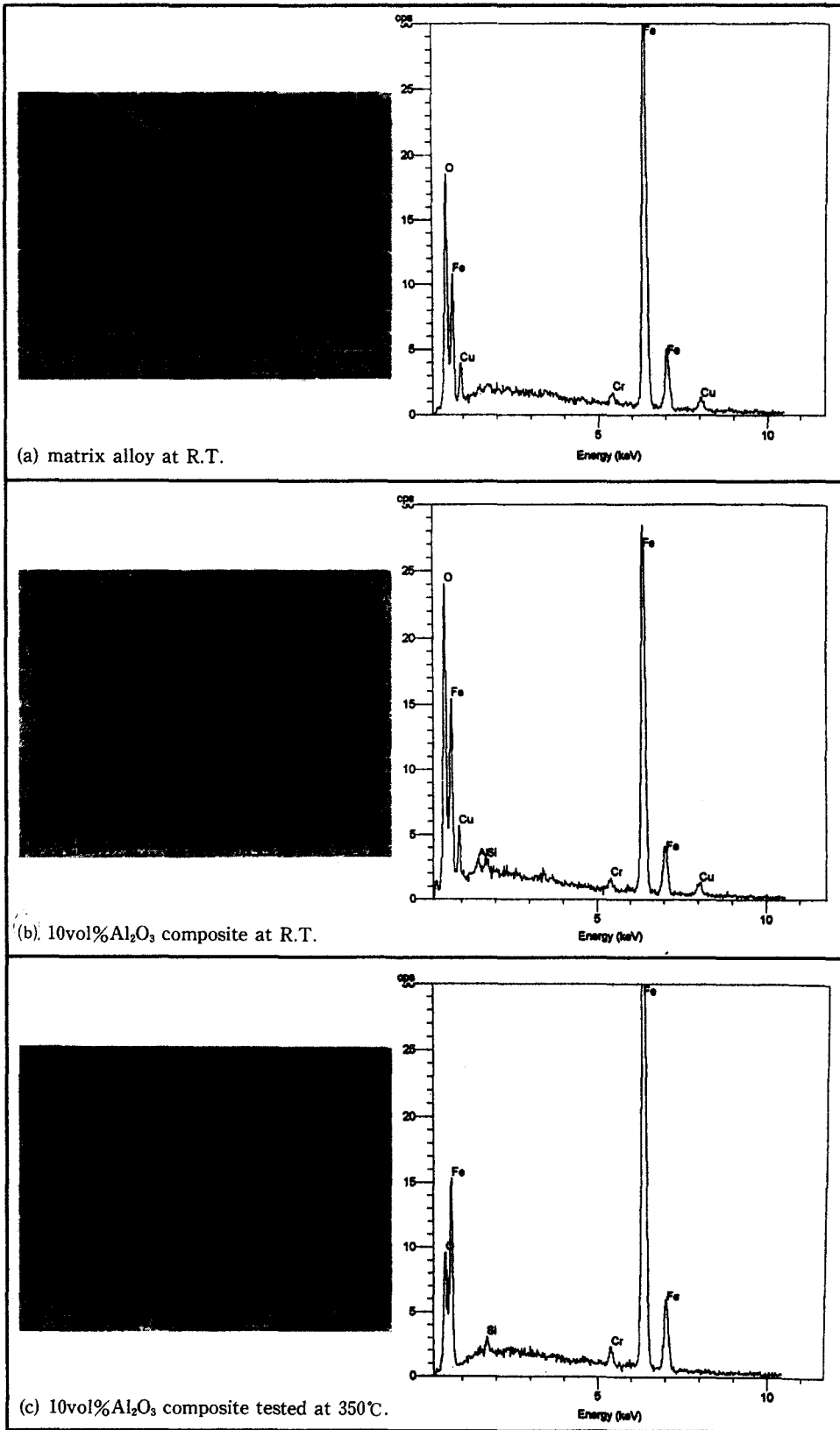


Fig. 6 SEM micrographs and EPMA analysis of counter disc. Examined with the pressureless sintered pin specimen of

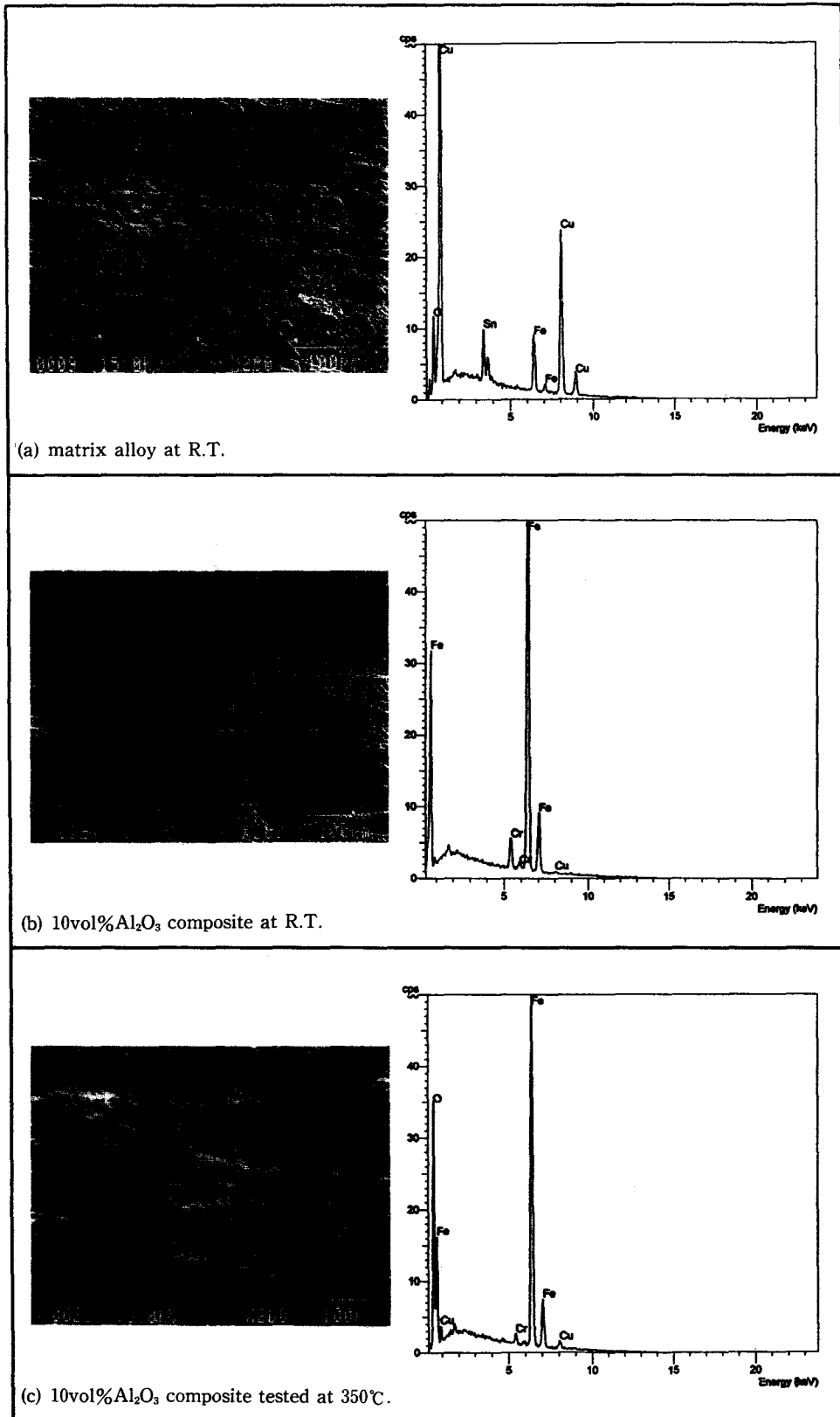


Fig. 7 SEM micrographs and EPMA analysis of counter disc. Examined with the hot pressed pin specimen of

터 얻은 결과로 미끄럼 접촉면에는 상온에서 시험한 상대재의 표면과는 달리 산화물층으로 생각되는 얇은 막들이 무질서하게 부착된 것이 관찰되고 있다. 350°C에서 기지합금과 시험한 상대재의 표면에서도 산화물층이 역시 관찰되었다. 상온과 350°C에서 마모시험한 EDS 미세분석 결과를 비교하면, 350°C에서 마모시험한 상대재의 미끄럼 마찰층에 Cu가 거의 포함되고 있지 않음을 알 수 있다. 이것은 대기중, 350°C의 마모 조건에서 Fe 산화물 생성자유에너지가 Cu에 비하여 낮기 때문에⁽¹²⁾ 미끄럼 접촉층에 형성되는 산화물이 주로 Fe 산화물로 형성되는 것이라 믿어진다.

Fig. 7은 600°C에서 0.5ton/cm²으로 가압 소결된 pin들과 마모시험한 상대재 disc들로 부터 얻은 결과이다. (a)는 기지합금과 상온 마모시험한 상대재의 결과로 표면에는 pin 시료로 부터의 물질전달층이 보이며,

EDS분석에서도 물질전달된 Cu peak가 보여지고 있다. 그러나 물질전달된 양은 상압 소결재 pin과 시험한 Fig. 6(a)에 비하여 적게 관찰된다. 이것은 가압소결된 시료의 정도가 상압소결된 시료에 비하여 높아 미끄럼 마찰면 밑에서 반복하중에 의하여 생겨나는 소성변형률이 좁은 범위로만 파괴변형률을 초과하여 파괴가 일어나 물질전달이 적은 범위로 일어나기 때문이라 믿어진다. Fig. 7(b)는 단섬유가 10vol% 보강된 복합재와 상온에서 시험한 상대재로 부터 얻은 결과로 Fig. 6(b)와 같이 단섬유가 상대재를 연삭한 연삭골이 여러 곳에서 관찰되고 있다. 그러나 상대재의 표면손상은 같은 조성의 상압소결재와 시험한 상대재에 비하여 경미함을 알 수 있다. Fig. 7(c)는 알루미늄 단섬유가 10vol% 보강된 복합재 pin 시편과 350°C에서 마모시험한 상대재로 부터 얻은 결과로 같은 조성의 상압소결재와 시

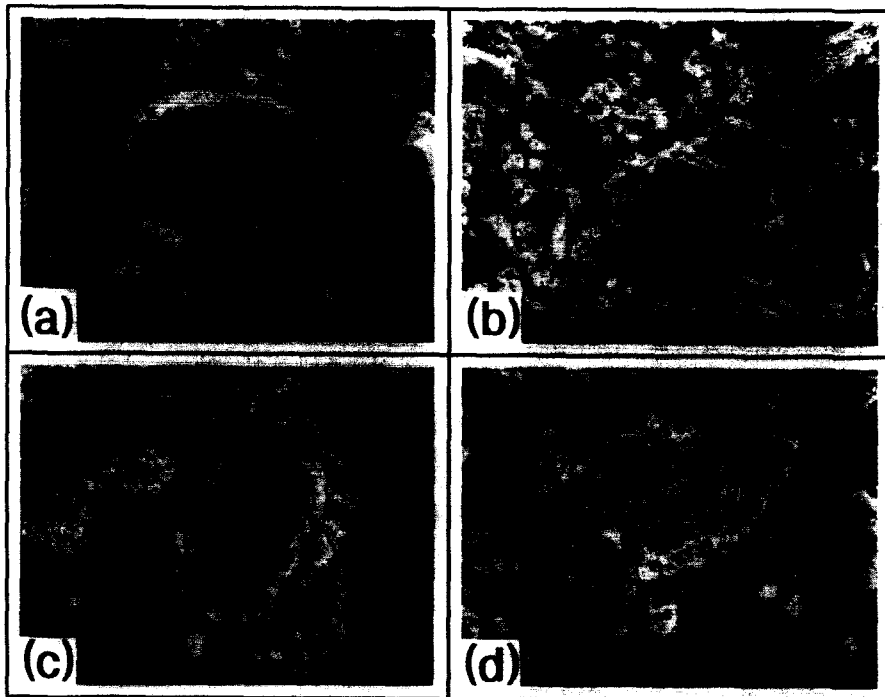


Fig. 8 SEM micrographs of wear debris obtained after testing with the hot pressed specimen of
 (a) matrix alloy at R.T. (b) 10vol% Al₂O₃ composite at R.T.
 (c) matrix alloy at 350°C (d) 10vol% Al₂O₃ composite tested at 350°C.

험한 상대재 표면과 유사하게 산화물층으로 생각되는 얇은 막들이 무질서하게 부착된 것이 관찰되고 있다. 또한 EDS 미세분석결과도 마찰층에 Cu가 거의 포함되고 있지 않았다. 따라서 350°C의 마모조건에서 대부분의 시편들에서 Fig. 3과 같이 낮은 마모량이 얻어진 것은 미끄럼 마찰층에 윤향작용^(13~15)을 하는 Fe 산화물이 존재하기 때문일 것이다.

3.6 마모부스러기

Fig. 8은 시료의 조성과 마모조건에 따른 가압소결재의 마모거동을 마모부스러기를 통하여 관찰한 결과이다. (a)는 기지합금, (b)는 10vol% 단섬유 보강 시료를 상온에서 그리고 (c)는 기지합금, (d)는 10vol% 단섬유 보강 시료를 350°C에서 각각 마모하중 20.58N, 미끄럼거리 500m, 미끄럼속도 0.5m/s로 마모시험 후 얻어진 마모부스러기를 보여준다. (a)와 (b)에서는 크기와 형태가 불규칙한 마모부스러기가 관찰된다. 미끄럼 마찰하는 금속의 계면에서 약한 쪽의 금속돌기가 응착한 후 이것이 끊어지는 것이 반복되며 응착마모에 의한 재료의 파괴가 일어난다. 시료의 위치에 따라 응착의 정도가 다르기 때문에 이에 따라 생성되는 마모부스러기의 크기와 형태가 다르게 된다. 따라서 (a)와 (b) 시편에서는 응착마모가 마모기구로 작용하였다고 믿어진다. 이 결과는 Fig. 4(c), (d)의 마모표면 관찰과 상응한다. Fig. 8의 (c)와 (d)의 350°C에서 마모시험한 마모부스러기에서는 1 μ m 이하의 미세하고 둥근 입자들과 이런 입자들이 뭉쳐져 있는 것이 관찰된다. 이 온도에서 시험한 마모표면에는 Fig. 5와 같이 얇은 산화막들이 무질서하게 분포되어 있는 것으로 보여졌다. 이런 산화막이 반복되는 미끄럼에 의하여 잘게 부스러지면 이런 형태의 마모부스러기가 얻어질 것이다. 따라서 350°C에서 마모시험한 시료들에서 미세하고

둥근 마모부스러기가 관찰되는 것은 얇은 산화막이 분리되어 얻어지며, 이런 형태로 마모손상이 일어나 낮은 마모량이 얻어졌을 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 가압소결법과 상압소결법을 이용하여 알루미늄 단섬유 보강 복합재를 제조하였다. 제조된 복합재들의 마모거동을 pin-on-disc 형태의 마모시험기에서 상온과 고온에서 마모특성변화를 측정하였고, 각종 분석을 통하여 실험결과를 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 약한 마모조건에서는 Cu-10wt%Sn 기지합금의 물성이 마모특성을 지배하였다. 상온 마모시험시 기지합금의 강도가 낮은 상압소결재는 5.88N까지, 그리고 기지합금의 강도가 높은 가압소결재는 20.58N까지 단섬유 보강에 따른 내마모성의 향상효과가 나타나지 않았다.

(2) 11.7N 이상의 마모하중에서는 단섬유의 보강효과가 크게 나타나 상압 및 가압소결로 제조된 알루미늄 단섬유가 보강된 복합재는 고하중에서 기지합금에 비하여 월등히 낮은 마모량을 나타냈다.

(3) 기공들이 균열발생의 자리를 제공하고 균열의 전파 통로를 제공하여 상압소결재에서는 판상박리마모가 관찰되지만, 기공이 거의 존재하지 않는 가압소결 시료에서는 큰 범위로 재료의 손상이 일어나는 마모기구는 작용하지 않았다.

후 기

본 연구는 1994년도 교육부 신소재분야 학술연구 조성비로 지원되었습니다.

참고문헌

- (1) Gupta M. and Lane C., 1992, "Micros-

- structure and Properties of Spray Atomized and Deposited Al-7 Si/SiCp Metal Matrix Composites," *Script. Met.*, Vol. 26, pp. 825~830.
- (2) Alpas A. T. and Zhang J., 1990, "Sliding and Abrasive Wear Behavior of an Aluminum(2014)-SiC Particle Reinforced Composite," *Script. Met.*, Vol. 24, pp. 931~935.
- (3) Surappa M. K., Prasad S. V. and Rohatgi P. K., 1982, "Wear and Abrasion of CastAl-Alumina Particle Composites," *Wear*, Vol. 77, pp. 295~302.
- (4) L. Cao, 1990, "The Wear Properties of a SiCw Reinforced Aluminum Composites," *Wear*, Vol. 140, pp. 273~277.
- (5) 이상로, 허무영, 1993, "무윤활 마찰하에서 SiC 휘스커 및 입자강화 청동기지 복합재의 마모특성," *한국윤활학회지*, 제 9권, 제 2호, pp. 49~55.
- (6) Suh Nam P., 1977, "An Overview of the Delamination Theory of Wear," *Wear*, Vol. 44, pp. 1~16.
- (7) Aiguo Wang and Rack H. J., 1991, "Abrasive Wear of Silicon-Carbide Particulate and Whisker Reinforced 7091 Aluminum Matrix Composites," *Wear*, Vol. 146, pp.337~348.
- (8) Sarkar A. D., 1983, "The Role of Wear Debris in the Study of Wear," *Wear*, Vol. 90, pp. 39~47.
- (9) Park H. C., 1992, "Wear Behavior of Hybrid Metal Matrix Composites Materials," *Script. Met.*, Vol. 27, pp. 465~470.
- (10) Arsenault R. J. and Fisher R. M., 1983, "Microstructure of Fiber and Particulate SiC in 6061 Al Composites," *Script. Met.*, Vol. 17, pp. 67~71.
- (11) 이상로, 허무영, 1994, "알루미늄 단섬유 및 입자강화 알루미늄 청동기지 복합재의 마모특성," *한국윤활학회지*, 제 10권, 제 3호, pp. 39~46.
- (12) Gaskell David R., 1981, "Introduction to Metallurgical Thermodynamics," McGRAW-HILL BOOK COMPANY, pp. 585~586.
- (13) Quinn T. F. J., 1983, "Review of oxidational wear Part I : The Origins of Oxidational Wear," *TRIBOLOGY international*, Vol. 16, No. 5, pp. 257~271.
- (14) Sullivan J. L., Quinn T. F. J. and Rowson D. M., 1980, "Developments in the Oxidational Theory of Mild Wear," *TRIBOLOGY international*, pp. 153~158.
- (15) Sullivan J. L. and Athwal S. S., 1983, "Mild Wear of a Low Alloy Steel at Temperatures up to 500 °C," *TRIBOLOGY international*, Vol.16, No. 3, pp. 123~131.