

Saffil/SiCp을 이용한 금속 복합재료의 상온 마모 거동

조종인*, 한경섭**

Wear Behavior of Saffil/SiCp reinforced Metal Matrix Composites at the room temperature

J. I. Jo and K. S. Han

Key Words : MMC, Wear behavior, , SiC particle, Saffil fiber

ABSTRACT

Aluminum based metal matrix composites(MMCs) are well known for their high specific strength, stiffness and hardness. They are gaining further importance because of their high wear resistance. In this study, Al/Saffil-20%, Al/Saffil-5%/Al₂O₃(particle type)-15% and Al/Saffil-5%/SiC(particle type)-15% hybrid MMCs' wear behavior were characterized by the pin-on-disk test under various normal load. The superior wear resistance was exhibited at Al/Saffil-5%/SiC(particle type)-15% MMCs. And this MMCs' predominant wear mechanism is subsurface cracking in the low load wear regime. Others(Al/Saffil-20%, Al/Saffil-5%/Al₂O₃(particle type)-15%) showed the similar wear resistance with each other at the same test condition. In the low load & room temperature condition, the wear resistance was improved due to the high hardness of the ceramic reinforcements. As the test load increased, the wear properties were governed by the wear properties of matrix.

1. 서론

금속 복합재료는 비강도, 비강성 등과 같은 기계적 물성이 우수하고, 기존의 금속재료 제조기술을 이용할 수 있다는 장점 때문에 자동차 및 항공 우주산업 등에서 피스톤, 커넥팅 로드, 실린더 그리고 브레이크 라이너 같은 국소 보강재로 각광 받고 있다. 특히 알루미늄 기지 금속 복합재료는 내마모성이 뛰어나고 질량 감소 효과에 효과적이어서 관심의 대상이 되고 있다.

세라믹 보강재료는 SiC, Al₂O₃, SiO₂ 등이 쓰이는데 여러 보고들에 의하면 단일 보강재

만을 이용하는 금속 복합재료에서 두가지 이상의 혼합 보강재를 사용하여 경제성과 내마모성을 증가시키는 혼합 복합재료의 연구가 진행되고 있다. 특히 탄소를 혼합한 혼합 복합재료는 가격이 저렴하고 고체 윤활 특성이 뛰어나 상대재를 보호하는 재료로 알려져 있다[1-4].

여러 가지의 관점에서 연구가 진행되었는데, 첫째로, 세라믹의 고경도로 인하여 abrasive wear[5,6]나 lubricated sliding wear [4,7]의 조건에서는 마모 저항성이 향상되는 것이 보고되고 있으나, unlubricated sliding wear에서는 상반되는 결과들의 보고가 있다.

Hosking et. al.[8]의 보고에 따르면 건식 마모에서 2014Al-Alumina의 금속 복합재료를 이용한 실험에서, 무게비와 세라믹 입자의 크기가 증가할수록 마모 저항성이 커진다고 보고

* 포항공과대학교 기계공학과 박사 과정

** 포항공과대학교 기계공학과 교수

되었고, Surappa et. al.[7]의 보고에 따르면, 5%의 alumina의 함유는 Al-Si 합금의 마모 저항성에 영향을 미치지 않는다고 보고하였고, Saka et. al.[9]에 따르면 Cu-Alumina 금속복합재료에서 입자의 뭉침이 증가할수록 마모 저항성은 줄어든다고 보고하였다.

Alpas and Embury[10]의 보고에 따르면, 금속 복합재료의 마모저항성의 감소는 기지재와 보강재간의 interface 결합이 취성이 강하거나 약하고, 보강재의 비율이 증가함에 따라 ductility가 감소하기 때문이라고 한다.

그러므로, 보강재의 강도와 금속복합재료의 마모율은 선형적인 관계만은 아닌 것으로 판단된다. 이 논문에서는 하중에 따른 상온에서의 금속 복합재료의 마모 특성에 대하여 각각의 마모율을 바탕으로 기술할 것이다.

2. 마모실험

2.1 실험 과정

본 연구에서는 상온에서의 금속 복합재료의 마모 거동을 살펴보고자 한다.

기지재로는 AC8A 알루미늄 합금을, 보강재로는 Saffil, Al_2O_3 (particle type - 이하 alumina), SiC(particle type - 이하 SiCp)을 사용하였다. 예비 성형체를 제조하는데 사용한 방법은 진공압 추출법이고, 부피 분율은 20%로 하였다.

자체 제작한 예비 성형체를 이용하여 금속 복합재료를 제조하였다. 각각의 재료는 AC8A/Saffil 20 vol.%, AC8A/Saffil/Alumina 20 vol.%, AC8A/Saffil/SiCp 20 vol.%,를 제조하여 실험하였고, hybrid의 경우에는 섬유와 입자의 비율은 1:3으로 고정시켰다. 금속 복합재료는 가압 주조법을 이용하여 제조하였으며, 이후 T6 열처리를 하여 마모 시험을 수행하였다.

마모 시험은 pin-on-disc type의 마모 시험기를 사용하였다. 시험 전 시험편과 상대재의 표면은 sand paper #1500으로 균일하게 연마하였다. 각각의 시험편은 유기물들을 제거하기 위하여 acetone으로 600초 동안 cleaning 작업을 하였다. 하중은 1kgf에서 24kgf 사이에서 6개의 하중을 선택하여 변화하였다. 다른 물리적인 요소(표면 조도, 마모 속도, 마모 거리, etc)등은 고정되었다. 상대재로는 SCM440

을 이용하였으며, pin의 edge에 의한 disk의 연삭이나, 균열 발생으로 ceramic의 파괴를 막기 위하여 5mm의 pin을 4.3mm chamfer시켰다. 마모량은 $10^{-5}g$ 까지 측정 가능한 전자 저울을 사용하여 실험 전 후의 마모량을 측정하였다. 마모량은 단위 거리 당 부피 손실로 나타내었다. 실험 후 마모시편은 주사현미경(SEM)을 통해 마모면을 관찰하였다.

각각의 제조된 금속 복합재료의 밀도는 기포가 없다는 가정하에, Al/Saffil은 $2.82g/cm^3$, Al/Saffil/ Alumina는 $2.92g/cm^3$, Al/Saffil/SiCp은 $2.805g/cm^3$ 이다. 각 조건별 마모 시험은 2개에서 4개의 시편을 사용하였으며, 마모량은 손실된 무게를 측정된 후 각각의 밀도를 나누어 cm^3/m 를 사용하여, 단위 거리 당 손실 부피를 측정하였다

2.2 실험 결과

마모량이 선형적으로 증가하는 mild wear 구간에서는 다음과 같은 특성을 지닌 마모 현상들이 관찰되었다.

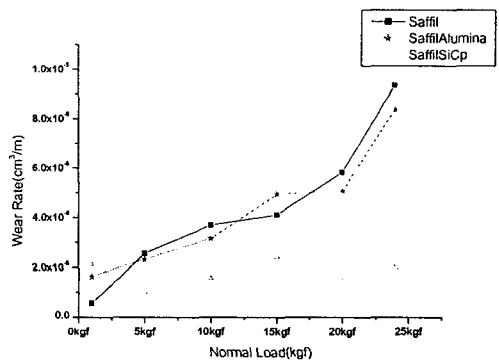


Fig.1 Wear Rate as Type.

첫번째로, 저하중에서는 입자가 보강된 금속 복합재료는 하중을 지지하는 능력을 가지고, 이러한 하중 지지능력으로 ceramic 입자의 아래에서 subsurface cracking이 발생한다.

이러한 현상은 SiCp이나 alumina가 보강된 혼합 금속 복합재료 모두에서 관찰되었으며, 특히 SiCp이 보강된 금속 복합재료는 기지재와 ceramic보강재 간의 경계면의 취약성으로 인하여, 더 많은 양의 subsurface cracking이 발생하였다. Saffil이 보강된 금속 복합재료는

abrasion이 주된 마모 기구를 이루며, microgrooving 및 microcutting이 주된 마모 특성으로 나타났으며, subsurface cracking이 관찰되지 않았다.

두번째로, 하중이 증가함에 따라 입자가 보강된 금속 복합재료는 subsurface cracking이 증가하며, microgrooving과 microcutting이 관찰되며 마모량이 증가하였다.

기존의 연구에 의하면, 입자가 보강된 금속 복합재료는 이 영역에서 기지재의 마모율과 비슷한 경향을 보이며, 급격하게 마모량이 줄어드는 것이 보고되었다. 하지만 혼합복합재료의, Alumina나 SiCp이 보강된 금속 복합재료, 경우에는 Saffil의 높은 강도로 subsurface cracking의 진행을 저지하여, 급격한 마모량의 증가는 기존의 연구[6,7]와 비교하였을 때, 더 높은 하중에서 나타났다.

SiCp이 혼합된 금속 복합재료의 경우에는 SiCp의 경계면의 취약성 때문에 지속적인 subsurface cracking이 일어나지만, 여기서도 Saffil의 subsurface cracking의 저지로 상온에서는 하중 증가에 따라 비슷한 마모량을 유지함을 보였다.

하중이 증가함에 따라 Severe wear가 일어났다. 이러한 Severe wear는 대량의 소성 변형 및 cracking이 일어나므로 마모 표면에서의 안정적인 마모 형상이 일어나지 힘들며, 표면의 불안정이 계속 진행됨에 따라 마모량은 다른 구간들에 비하여 100배 이상 증가하였다. 하지만 이런 severe wear 구간에서도 ceramic의 보강효과에 의한 shear flow효과가 줄어들기 때문에, 가장 높은 정도 및 파괴 강도를 지닌 SiCp이 보강된 혼합금속 복합재료의 마모량이 상대적으로 적게 나타났다.

입자 형태에 따라 whisker type나 fiber type의 ceramic이 보강된 금속 복합재료는 초기의 run-in구간에서 particle type의 ceramic이 보강된 금속 복합재료 보다 우수한 마모 저항성을 보이고 있다. 하지만 하중이 증가함에 따라 particle type의 ceramic이 보강된 금속 복합재료가 더 높은 마모 저항성을 가지는 것이 보고되고 있다[11].

연구에 사용한 시편들은 입자 형태와 섬유 형태가 혼합된 재료로, 전체적으로 입자의 비율이 높다. Saffil/SiCp의 경우에는 SiC 입자를 Saffil 섬유가 감싸면서, 저하중에서의 마모 저항성을 향상 시키며, 고하중에서는 SiCp의

높은 경도와 파괴강도로 마모 저항성을 향상시킨다. 전체적으로 SiCp이 보강된 금속 복합재료가 마모에 대한 저항성이 높은 것으로 분석된다.

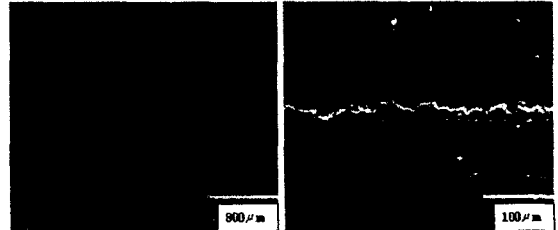


Fig. 2 Wear Surface of Al/Saffil at 1kgf by SEM

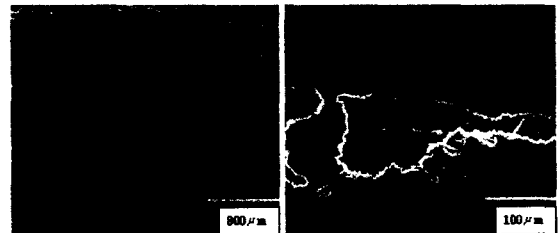


Fig.3 Wear Surface of Al/Saffil at 10kgf by SEM

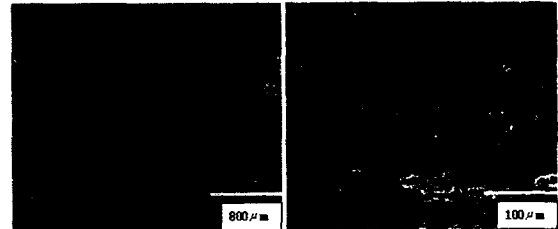


Fig.4 Wear Surface of Al/Saffil/Al₂O₃ at 1kg. by SEM



Fig. 5 Wear Surface of Al/Saffil/Al₂O₃ at 10kgf by SEM

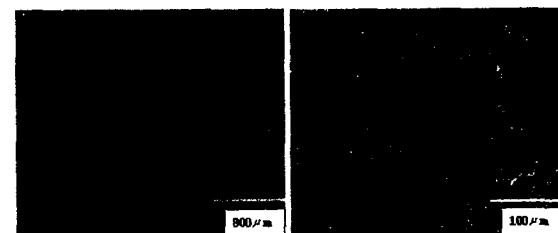


Fig.6 Wear Surface of Al/Saffil/SiCp at 1kgf by SEM



Fig.7 Wear Surface of Al/Saffil/SiCp at 10kgf by SEM

3. 실험 결과

1. Saffil, Saffil/Alumina, Saffil/SiC 중에 Saffil/SiC particle type이 보강된 혼합 금속 복합재료가 전체적으로 마모에 대한 저항성이 높았다. 이러한 결과는 SiCp의 높은 경도 및 파괴 강도에 의한 것으로 분석된다.

2. 전체적으로 금속 복합재료의 상온에서의 주된 마모기구는 abrasion을 동반한 subsurface cracking인 것으로 분석된다. Saffil이 보강된 금속 복합재료의 경우에는 subsurface cracking의 발생이 fiber들의 엉킴 때문에, 거의 일어나지 않지만, Alumina나 SiCp의 경우에는 particle의 subsurface cracking이 쉽게 일어나는 것이 관찰되었다.

3. Saffil/SiCp이 보강된 금속 복합재료는 저하중에서 다른 재료보다 높은 마모율을 보이지만, 하중의 증가에 따라 전체 구간에서 높은 마모에 대한 저항성을 가지고 있음이 실험결과 나타났다. 이러한 결과들은 기존의 하중이나 마모 속도에 따라 SiCp이 보강된 금속 복합재료가 강한 구간이 고하중 고속 이었던 것에 비하여, Saffil이 입자주위를 감싸기 때문에, subsurface cracking에 대한 저항력이 높아지고, 이러한 구조는 저 하중에서의 마모 저항성을 높이는 것으로 분석된다.

후 기

이 논문은 2003년도 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

(1) J. Zhang, A. T. Alpas, "Wear regimes and

Transitions in Alumina particulate-reinforced aluminum alloys", *Materials Science and Engineering*, Vol. A161, 1993, pp.273-284

- (2) J. T. Burwell, "Survey of possible wear mechanism", *Wear*, 1(1957)119-141
- (3) A. Blomberg and M. Olsson and S. Hogmark, "Wear mechanisms and tribo mapping of Alumina and SiC in dry sliding", *Wear*, Vol. 171, 1994, pp.77-89
- (4) S. V. Prasad and K. R. Mecklenburg, "Friction behavior of ceramic fiber-reinforced aluminum metal matrix composites against a 440C steel counterface", *Wear*, Vol. 162-164, 1993, pp.47-56
- (5) K. J. Bhansali and R. Mehrabian, "Abrasive wear of aluminum-matrix composites", *Journal of Metal*, Vol. 349, 1982, pp.30-34
- (6) A. G. Wang and I. M. Hutchings, "Wear of alumina-fibre aluminum composites by two-body abrasion", *Mater. Sci. Technol.*, Vol. 5, 1989, pp.71-76
- (7) M. K. Surappa, S. V. Prasad and P. K. Rohatgi, "Wear and abrasion of cast Al-alumina particle composites", *Wear* Vol. 77, 1982, pp.295-302
- (8) A. T. Alpas and J. Zhang, "Effect of SiC particle reinforcement on the dry sliding wear of aluminum-silicon alloys(A356)", *Wear*, Vol. 155, 1992, pp.83-104
- (9) N. Saka and D. P. Karalekas, "Friction and abrasion of cast-alumina particle composites", in K. C. Ludema(ed.), *Wear of Materials*, ASME, New York, 1985, pp.784-793
- (10) A. T. Alpas and J. D. Embury, "Wear mechanisms in particle reinforced and laminated metal matrix composites", in K. C. Ludema and R. G. Boyer(eds.), *Wear of Materials*, ASME, New York, 1991, pp.159-166
- (11) A. P. Sannino and H. J. Rack, "Tribological investigation of 2009 Al-20vol.% SiCp/17-4PH Part I : Composite performance", *Wear*, Vol. 197, 1996, pp.151-159