

강화상의 분율에 따른 알루미늄기 복합재료의 마모거동 Wear Behavior of Al-based Composites according to Reinforcements Volume Fraction

이광진 · 김균택 · 김영식

K. J. Lee, K. T. Kim and Y. S. Kim

(접수일 : 2011년 08월 04일, 수정일 : 2011년 09월 04일, 채택확정 : 2011년 09월 16일)

Key Words : Thermal Spray Process(용사법), Al/SiC Composites(Al/SiC 복합재료), Wear Behavior(마모거동), Mechanical Mixed Layer(MML, 기계적혼합층), Volume Fraction(체적분율),

Abstract : SiC particulate reinforced Al matrix composites with different SiC volume fractions were fabricated by thermal spray process. And the dry sliding wear test were performed on these composites using the applied load of 10 N, rotational speed of 30 rpm, radius of rotation 15 mm. Wear tracks on the Al/SiC composites were investigated using scanning electron microscope(SEM) and energy dispersive spectroscopy (EDS). It was observed that wear behavior of Al/SiC composites and formation of MML was changed dramatically according to reinforcement volume fraction.

1. 서 론

최근 산업의 발달과 함께 재료특성의 향상에 대한 요구가 꾸준히 제기되고 있으며, 이에 따라 기존재료 보다 우수한 강도와 기능적 특성을 가진 재료의 개발 및 적용에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 다양한 산업분야의 경량화 요구에 대응하여 기존의 철강재료를 알루미늄 합금 및 알루미늄기 복합재료로 대체하고 있다¹⁻³⁾.

복합재료를 제조하는 방법에는 용탕주조법, 가압주조법, 스퀴즈 캐스팅, 침투법 및 분말야금법 등이 있다. 그러나 이 방법들에 의해 복합재료를 제조하는 경우 기지재내에 강화상의 편석이 생긴다든지 혹은 예비성형체가 파손된다든지 하는 문제점들이 있고, 또한 공정시간이 길고 제조비용이 높아지는 단점이 있다. 이에 반해 용사법에 의해 복합재료를 제조하는 경우 대상물의 크기나 형상에 제약이 적고, 비교적 공정시간이 짧으며 제조비용이 낮다는 장점이 있어 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^{4,5)}.

복합재료는 기지재내에 강화상이 분포하여 기지재

의 기계적 특성을 강화시킨 재료이므로, 강화상의 분포가 복합재료의 기계적 특성에 많은 영향을 끼친다.

본 연구에서는 용사법으로 제조된 알루미늄기 복합재료를 대상으로 강화상의 분율에 따른 복합재료의 미세구조 및 마모거동을 분석하였다.

2. 실험방법

본 연구에서 알루미늄기 복합재료를 제조하기 위해 사용된 기지재는 Praxair사의 알루미늄 분말(Al-104)이고, 강화상은 Aldrich사의 SiC 분말(37809-7)이다. 강화상의 분율에 따른 알루미늄기 복합재료의 마모거동을 분석하기 위해 SiC 강화상의 분율을 10, 20, 30, 40 vol. %의 4가지로 하여 볼밀로 120분간 충분히 혼합하였다. 혼합된 분말을 Sulzer Metco사의 Flame spray system(6P II)을 사용하여

Table 1 Thermal spray parameters

Parameters	Conditions
Oxygen gas flow [m ³ /h]	0.68
Acetylene gas flow [m ³ /h]	0.68
Powder feed rate [kg/h]	5.4
Spray distance [mm]	96
SiC Vol. %	10, 20, 30, 40

김영식(교신저자) : 부경대학교 기계자동차공학과
E-mail : yeongsik@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6155
이광진 : 한국폴리텍VII대학
김균택 : 부경대학교 대학원

40 × 40 × 6 mm의 SS400 모재 위에 용사하여 알루미늄기 복합재료 코팅을 제작하였다. Table 1은 본 실험에 사용한 용사코팅 조건을 나타낸다.

제조된 복합재료 코팅의 미세구조를 주사전자현미경(scanning electron microscope)으로 관찰하고, ball-on-disk 타입의 마모시험기를 이용하여 마모시험을 실시하였다. 마모시험조건은 하중 10 N, 회전반경 15 mm, 회전속도 30 rpm, 1000 cycle로 하고, 상대마모재로는 8 mm 지름의 고탄소크롬강 볼을 사용하였다. 마모시험후 SEM을 사용하여 마모거동을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 강화상인 SiC의 분율이 각각 10, 20, 30 및 40 %인 복합재료 코팅의 단면 SEM 사진이다. 사진에서 보이는 바와 같이 모든 경우에 코팅층과 모재가 산화층이 없이 매우 잘 밀착되어 있다. 또한 코팅층 내에 SiC 입자가 고르게 분포하고 있으며 기공은 관찰되지 않는다.

Fig. 2와 3은 각각 SiC 분율 변화에 따른 마모율과 마찰계수의 변화를 나타낸 것으로 마모율과 마찰계수는 비슷한 경향을 나타낸다. SiC 분율이 10, 20 %인 경우에는 마모율과 마찰계수 모두 거의 변화가 없으나 30 % 이상에서는 마모율 및 마찰계수가 크

게 감소하였으며 특히 SiC 분율이 40 %일 때 매우 낮은 마모율 및 마찰계수를 보이고 있다. 이러한 SiC 분율에 따른 마찰계수의 차이는 Fig. 4에 나타낸 cycle에 따른 마찰계수의 변화로서 설명할 수 있다. SiC 분율이 10, 20 %일 때 마모 초기의 마찰계수가 높게 나타나며 변동의 폭이 크고 cycle이 증가함에 따라 마찰계수가 낮아진다. 반면, SiC 분율이 30, 40 %일 때에는 cycle의 증가에 따라 마찰계수는 큰 변화를 보이지 않으며 거의 일정한 값을 나타낸다. 모든 경우에 1000 cycle에 가까워질수록 마찰계수는 비슷한 값을 보여주고 있다. 그림에서 중앙에 그은 가로선은 마찰계수 0을 나타내고, 그림 우측의 세로선은 1000 cycle을 나타낸다.

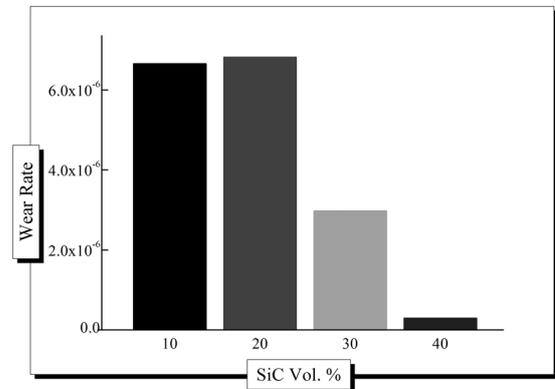


Fig. 2 Wear rates according to SiC volume fraction

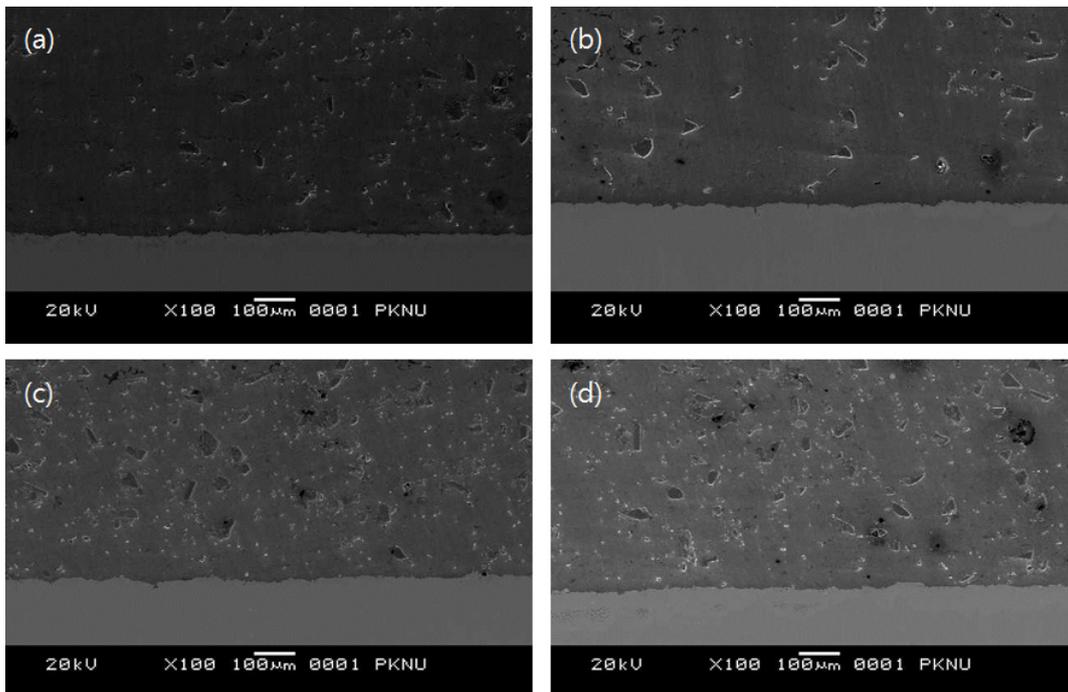


Fig. 1 Microstructures of Al/SiC composite coatings : (a) SiC 10 vol. %, (b) SiC 20 vol. %, (c) SiC 30 vol. %, (d) SiC 40 vol. %

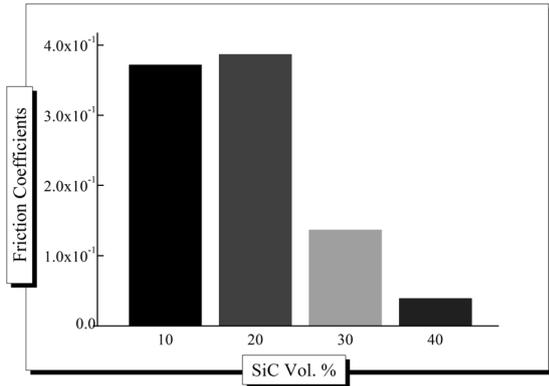


Fig. 3 Friction coefficients according to SiC volume fraction

Fig. 5는 SiC 분율에 따른 알루미늄기 복합재료 코팅의 마모면 SEM사진이다. SiC 분율 10, 20 %인 경우 마모가 진행됨에 따라 복합재료 코팅 표면의 알루미늄이 마모방향으로 소성변형되고 큰 덩어리로 응착된 상태로 탈락됨으로서 마모면이 매우 거칠어진 것을 볼 수 있다. 반면, SiC 분율이 30, 40 %인 경우에는 10, 20 %인 경우와 매우 다른 마모거동을 보이는데, 마모면의 폭이 좁고, 주된 마모거동은 연삭마모이며 부분적으로 응착마모거동이 관찰된다.

좀 더 상세한 마모거동을 관찰하기 위해 SiC 분율

이 30 %인 경우에 관찰되는 연삭마모된 부분과 응착마모된 부분을 확대하여 Fig. 6에 나타내었다. 연삭마모거동이 관찰되는 부분에서는 마모면이 비교적 매끄럽게 나타난 것을 볼 수 있으며(Fig. 6(a)), 응착마모거동이 관찰된 부분에서는 연삭마모와 응착마모가 함께 나타나며 약한 소성변형의 흔적도 관찰된다(Fig. 6(b)). 그러나 10, 20%인 경우와 달리 응착된 알루미늄이 탈락되지 않고 얇은 응착층을 형성하고 있는 것을 확인할 수 있으며, 연삭마모를 보이는 구간도 얇은 응착층이 마모면을 덮고 있는 것을 관찰할 수 있다.

이상의 결과들로부터 SiC 분율이 적은 경우 초기 마모단계에서 기재인 알루미늄의 응착마모가 심하게 일어나서 높은 마찰계수를 나타내며, 계속된 마모에 의해 응착된 알루미늄이 큰 덩어리로 마모면에서 탈락되어 높은 마모율을 나타내는 것으로 판단된다. SiC 분율이 높은 경우 초기 마모 단계에서부터 SiC가 알루미늄 기재의 응착을 방해하고, 소량의 탈락된 알루미늄 마모분들이 마모면에 얇은 응착층을 형성한 것으로 생각된다. 이 응착층 위에서 계속적으로 연삭마모가 진행된 것으로 보이며, 이에 의해 마찰계수의 변화가 적고 마모율이 낮은 것으로 판단된다. 이러한 마모거동의 차이는 Fig. 7에 나타난 마모면의

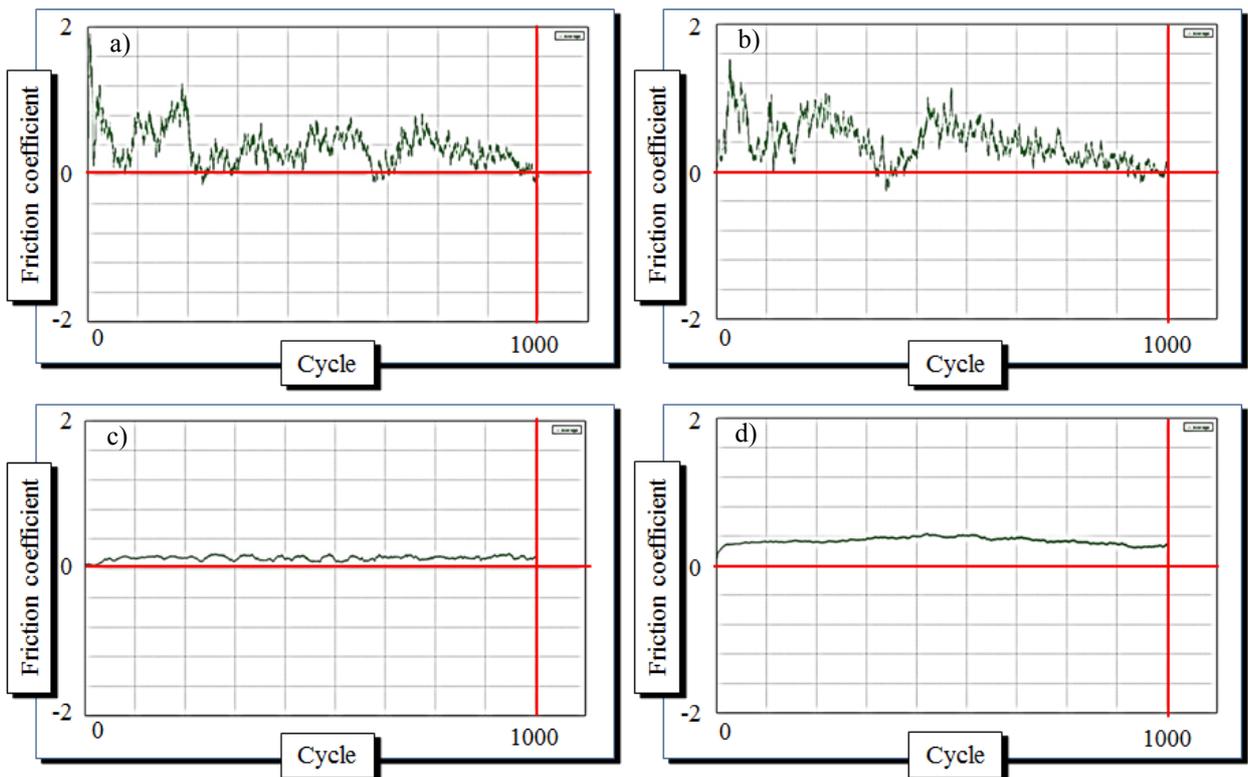


Fig. 4 Variation of friction coefficients against cycle

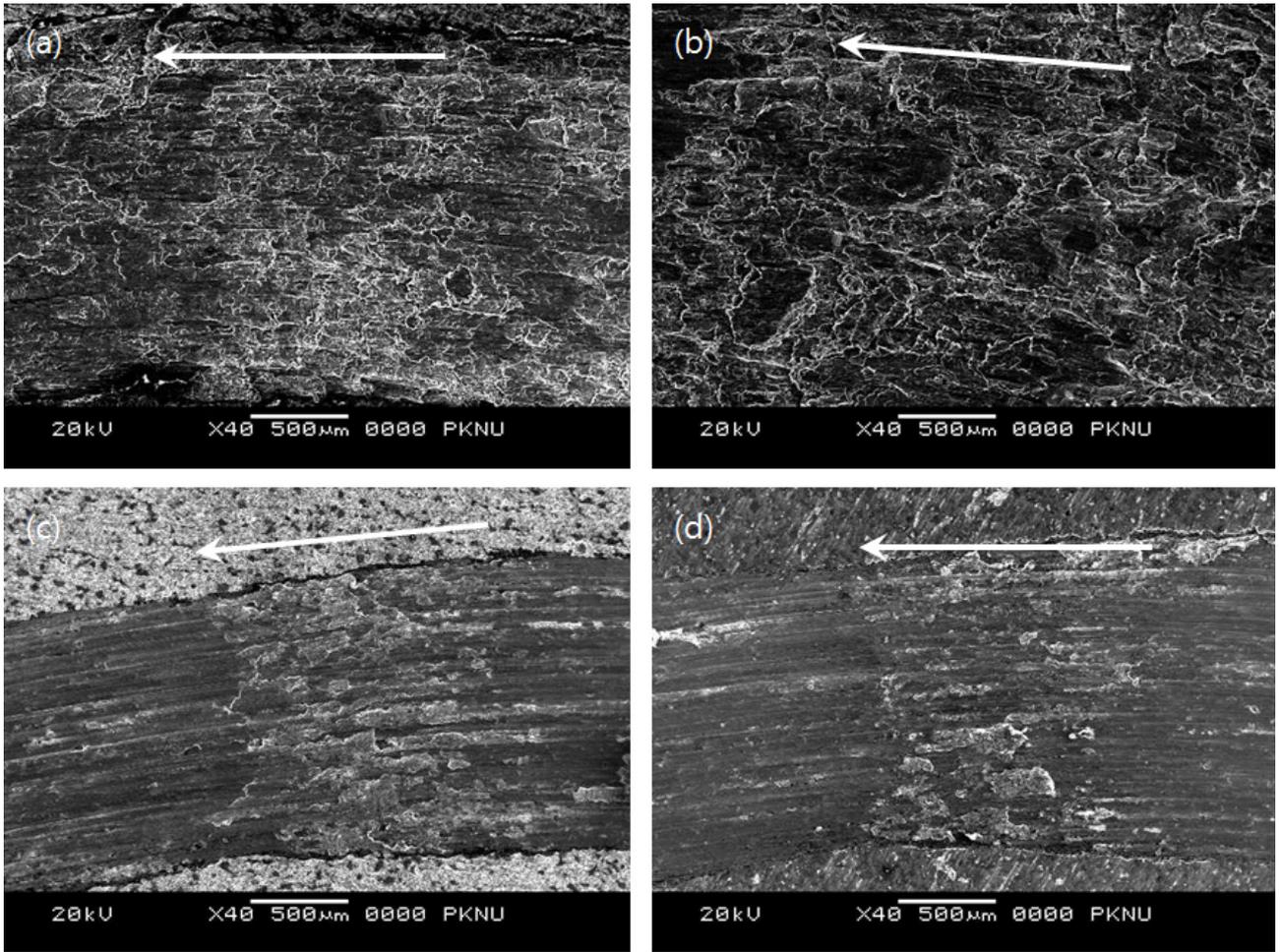


Fig. 5 Worn surface of Al/SiC composite coatings : (a) SiC 10 vol. %, (b) SiC 20 vol. %. (c) SiC 30 vol. %, (d) SiC 40 vol. %

단면 SEM 사진으로부터 확인할 수 있다. 사진에 표시된 선은 마모트랙의 폭을 나타낸다. SiC 분율이 20 %인 경우에는 마모면이 특히 넓고 깊게 형성되었다. 그러나 SiC 분율 40 %인 경우에는 20 %인 경우에

비해 마모면이 매우 좁고 얇게 형성되고, 마모면의 표면에는 Fig. 8에 나타난 바와 같은 MML (mechanical mixed layer)이 관찰된다. 이 MML은 마모에 의해 탈락된 입자가 반복된 접촉으로 미세해

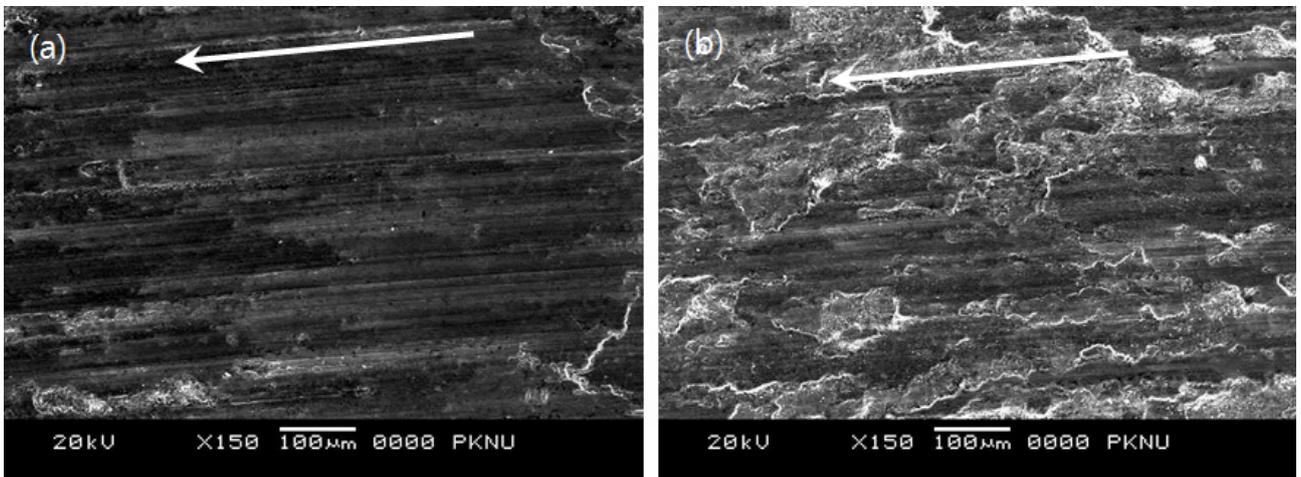


Fig. 6 Worn surface of Al/SiC composite coatings of SiC 30 vol. % : (a) abrasive region, (b) adhesive region

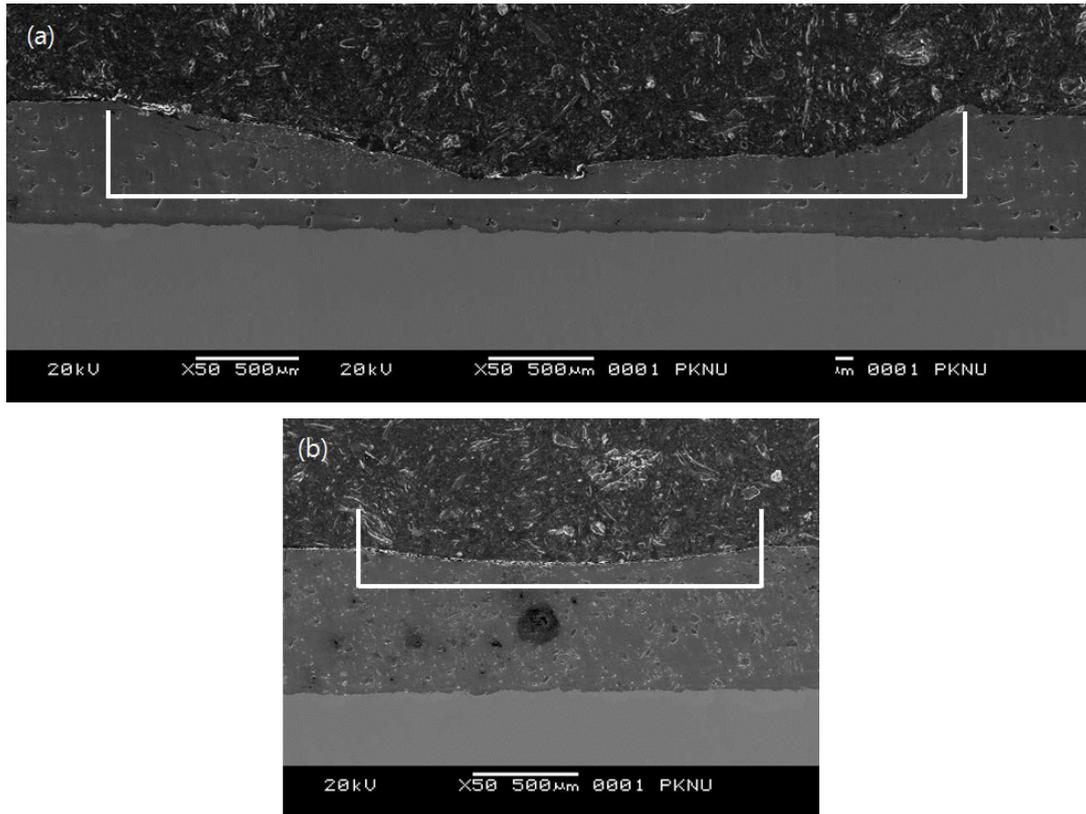


Fig. 7 Cross section of worn surfaces. : (a) SiC 20 vol. %, (b) SiC 40 vol. %.

지고 마모면에 응착됨으로서 마모면을 보호하고 윤활작용을 하는 것으로 보고되고 있다^{6,7)}. Fig. 8에 나타난 MML의 EDS(energy dispersive spectroscopy) 분석 결과 이 MML은 알루미늄 산화물과 SiC로 구성되어 있는 것으로 확인되었다.

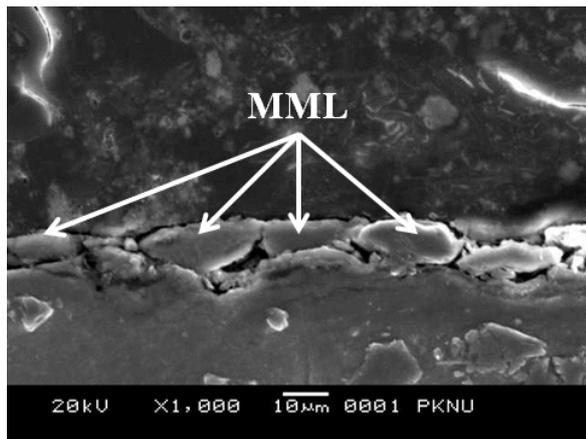


Fig. 8 MML on the worn surface of Al/SiC composite coatings of SiC 30 vol. %

이상의 결과들로부터 알루미늄기 복합재료 코팅의 마모거동에 미치는 SiC 분율의 영향은 다음과 같이 요약할 수 있다. SiC 분율이 10, 20 %일 때에는 마

모 초기에 기지재인 알루미늄의 응착마모가 일어나고 마모 표면에 큰 요철을 형성하여 지속적인 마찰에 의해 응착된 입자의 탈락이 일어나는 과정이 반복된 결과 마찰계수가 높고 마모량이 많으며 매우 거친 마모면이 형성된다. 반면 SiC 분율이 30, 40 %일 때에는 마모면의 표면에 기지재인 알루미늄의 응착이 발생하나 그 정도가 매우 적고 또 응착된 층 위에서 연삭마모가 진행되어 마모면의 표면이 매끄럽게 되고 그 결과 마찰계수가 낮고 마모량이 적다. 이상에서 살펴본 바와 같이 강화상인 SiC의 분율에 따라 알루미늄기 복합재료의 마모율과 마찰계수는 크게 달라지는데, SiC 분율이 30 vol. %를 넘을 경우 특히 그 변동의 폭이 크게 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 용사법으로 제조된 알루미늄기 복합재료를 대상으로 강화상의 분율에 따른 복합재료의 미세구조 및 마모거동을 분석하였다. 주요한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) SiC 분율이 10, 20 %인 경우에는 마모율과 마찰계수 모두 거의 변화가 없으나 30 % 이상에서는

마모율 및 마찰계수가 크게 감소하였고 특히 SiC 분율이 40 %일 때 마모율과 마찰계수가 가장 낮다.

2) SiC 분율이 적을 때는 마모초기에 응착마모와 코팅입자의 탈락이 일어나 마찰계수가 높고, SiC 분율이 높을수록 응착과 동시에 연삭마모가 일어나 마찰계수가 낮다.

3) SiC 분율이 30 % 이상인 경우 마모면의 표면에 알루미늄 산화물과 SiC로 구성된 MML이 형성된다.

Generate a Mechanically Mixed Layer”, *Wear*, Vol. 259, pp. 590-601.

참고 문헌

1. Gul, F. and Acilar, M., 2004, "Effect of the Reinforcement Volume Fraction on The Dry Sliding Wear Behaviour of Al - 10Si/SiCp Composites Produced by Vacuum Infiltration Technique", *Composites Science and Technology*, Vol. 64, Issues 13-14, pp. 1959-1970.
2. V. P. Rotshtein et al., 2004, "Surface Modification and Alloying of Metallic Materials with Low-energy High-current Electron Beams", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 180-181, pp. 377-381.
3. M. Åstrand et al., 2004, "PVD- Al₂O₃-coated Cemented Carbide Cutting Tools", *Surface and Coatings Technology*, Vol. 188-189, pp. 186-192.
4. L.A. Dobrzański, and K. Lukaszewicz, 2004, "Erosion Resistance and Tribological Properties of Coatings Deposited by Reactive Magnetron Sputtering Method onto the Brass Substrate" *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 157-158, pp. 317-323.
5. K. Ghosh, T. Troczynski and A. C. D. Chaklader, 1998, "Aluminum-Silicon Carbide Coating by Plasma Spraying", *Journal of Thermal Spray Technology*, No. 7, pp. 78-86.
6. M. Acilar and F. Gul, 2004, "Effect of the Applied Load, Sliding Distance and Oxidation on the Wear Behavior of Al-10Si/SiCp Composites Produced by Vacuum Infiltration Technique", *Materials and Design*, Vol. 25, pp. 209-217
7. M.R. Rosenberger, C.E. Schvezov, and E. Forlerer, 2005, "Wear of Different Aluminum Matrix Composites under Conditions that